

# Piilevä vikaantuminen lämpökeskuksessa Jyväskylän energia Oy

Oskari Jylhä

Opinnäytetyö

Huhtikuu 2014

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Tekniikan ja liikenteen ala  
Teollisuuden kunnossapito



JYVÄSKYLÄN AMMATTIKORKEAKOULU  
JAMK UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

# SISÄLTÖ

SISÄLTÖ .....	1
1 JOHDANTO .....	5
1.1 Jyväskylän Energia-konserni.....	5
1.2 Kuokkalan lämpökeskus.....	7
2 TARVE KUNNOSSAPITOSUUNNITELMALLE .....	11
2.1 Lämpökeskusten toiminnan tärkeys .....	11
3 KÄYNTIASTE JA KÄYTETTÄVYYS.....	12
3.1 Käyntiaste .....	12
3.2 Käytettävyys .....	14
3.3 Käytönaikainen käytettävyys .....	15
3.4 Käyntiaste ja käytettävyys Jyväskylän Energialla.....	16
4 PIILEVÄ VIKAANTUMINEN .....	16
5 VIKA- JA VAIKUTUSANALYYSI .....	19
6 LIIALLINEN KUNNOSSAPITO.....	21
7 PIILEVÄ VIKAANTUMINEN LÄMPÖKESKUKSELLA .....	23
7.1 Laakerit .....	25
7.2 Korroosio.....	29
7.3 Tiivisteet.....	29
7.4 Sakkaantuminen.....	31
7.5 Kattilamuurausten rapautuminen.....	33
7.6 Kumiosien rapautuminen.....	33
7.7 Venttiilien jumiutuminen .....	35
7.8 Varavoima .....	37
7.9 Kattilakivi .....	39
7.10 Kompressori.....	40
7.11 Voiteluaineet .....	42
8 TARKASTUSVÄLIEN MÄÄRITTELY.....	43
9 SOVELTUVUUS ERI LÄMPÖKESKUKSILLE .....	45
10 VÄRÄHTELYMITTAUS .....	46
11 KATTILAN NUOHOUS .....	47

12	LUOTETTAVUUDEN ARVIOINTI .....	48
13	JATKOTOIMENPITEET .....	49
	LÄHTEET .....	50
	LIITTEET .....	53
	Kuvio 1 Kattilaputkien membraanirakenne .....	7
	Kuvio 2 Perinteinen lämpölaitoksen kattila .....	10
	Kuvio 3 Käyntiaste 1990 ja 2010-luvuilla .....	13
	Kuvio 4 Nowlanin ja Heapin vikaantumismallit .....	22
	Kuvio 5 Pitkälle kehittynyt pumpun tiivistevuoto .....	24
	Kuvio 6 Reunavahvistettu grafiittitiiviste .....	30
	Kuvio 7 Kiertokaasupuhaltimen sakkautuma .....	32
	Kuvio 8 Omakäyttölämmönvaihdin ilman eristeitä .....	34
	Kuvio 9 Lämmönvaihtimen kumitiivisteiden rapautuminen .....	35
	Kuvio 10 Paineiskusta vääntynyt shunttiventtiili .....	36
	Kuvio 11 Kattilakiveä kiinteään polttoaineen kattilan tulipesässä .....	40



JYVÄSKYLÄN AMMATTIKORKEAKOULU  
JAMK UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

# KUVAILULEHTI

Tekijä(t) Jylhä, Oskari	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 23.04.2014
	Sivumäärä 52	Julkaisun kieli Suomi
		Verkkojulkaisulupa myönnetty ( X )
Työn nimi Piilevä vikaantuminen lämpökeskuksessa		
Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikka		
Työn ohjaaja(t) Niininen, Kirsi		
Toimeksiantaja(t) Kettunen, Sami, Jyväskylän Energia Oy		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyössä käsitellään varavoimana toimivien lämpökeskusten piilevää vikaantumista ja sen ehkäisykeinoja. Alueellisten lämpökeskusten käyntiaste on laskenut, joten uuden kunnossapito-suunnitelman luomiseksi piilevää vikaantumista tulee tutkia. Alentunut käyntiaste antaa piilevälle vikaantumiselle otolliset esiintymisolosuhteet. Opinnäytteessä otetaan kantaa käytännön toimiin piilevän vikaantumisen ehkäisemiseksi ja käydään läpi yleisimpiä lämpökeskuksen piilevästi vikaantuvia kohteita.</p> <p>Opinnäytteen avulla lukija kykenee tunnistamaan lämpökeskuksen piilevästi vikaantuvia kohteita ja suuntaamaan kunnossapitoa tehokkaammin. Lämpökeskuksen yleisimmät vikamuodot on käyty läpi teoriapohjan avulla. Opinnäyte valottaa keinoja vikoihin reagointiin, jatkotoimenpiteisiin ja kunnossapitotoimien mittarointiin.</p> <p>Opinnäytteen tietoja voidaan pääasiassa soveltaa raskasöljypolttimella toimivien lämpökeskusten ja varakattiloiden piilevän vikaantumisen tutkimiseen. Käytännön esimerkkejä voidaan soveltaa myös biomassalla toimiville lämpökeskuksille.</p>		
Avainsanat (asiasanat) piilevä vikaantuminen, lämpökeskus, vikamuoto, käytettävyys, käytönaikainen käytettävyys		
Muut tiedot		



JYVÄSKYLÄN AMMATTIKORKEAKOULU  
JAMK UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## DESCRIPTION

Author(s) Jylhä, Oskari	Type of publication Bachelor's / Master's Thesis	Date 23.04.2014
	Pages 52	Language Finnish
		Permission for web publication ( X )
Title Hidden failure in heating centre		
Degree Programme Machine- and production technology		
Tutor(s) Niinen, Kirsi		
Assigned by Kettunen, Sami, Jyväskylän Energia Oy		
<p>Abstract</p> <p>This thesis is about hidden failure in heating plants. Heating plants work as a spare power reserve. Heating plants utilization rate has been reduced a lot from the original values. This situation gives great opportunities for hidden failure to occur.</p> <p>Thesis is about effectively obstructing hidden failure in heating plant. Some theory about hidden failure is being covered and options for detecting hidden failure targets are given.</p> <p>Information about this thesis can be used for traditional heating plant equipped with heavy oil burners. Some information can be applied to solid burning mass heating plants.</p>		
<p>Keywords</p> <p>hidden failure, heating plant, failure mode, bearing failure, availability</p>		
Miscellaneous		

# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyö toteutetaan Jyväskylän ammattikorkeakoulun kone- ja tuotantotekniikka-linjan raporttina. Raportin kirjoittaja opiskelee pääaineenaan teollisuuden kunnossapitoa ja raportti käsittelee piilevää vikaantumista. Piilevä vikaantuminen on oleellinen osa teollisuuden kunnossapitoa, etenkin kun laite tai laitos on pienellä käyntiasteella. Opinnäytetyö tehdään yhteistyössä Jyväskylän Energia Oy:n erillistuotannon kanssa ja raportissa tutkitaan erillistuotannon lämpölaitosten piilevää vikaantumista.

Raportti käsittelee lämpölaitoksen mekaanisten laitteiden piilevää vikaantumista ja niiden ehkäisyä. Opinnäytteen aikana kerättiin tietoa lämpölaitosten vikamuodoista ja yleisimmät vikamuodot on esitelty raportissa. Vikojen estämiseksi on annettu suositeltavat toimenpiteet, jotka perustuvat käytännön havaintoihin ja suositeltuihin lämpölaitoksen hoito-ohjeisiin. Lämpölaitosohjeita on sovellettu vastaamaan nykypäivän tarvetta, sillä lämpölaitosten käyntiaste on alentunut huomattavasti. Käyntiasteen aleneminen asettaa uudenlaisia haasteita kunnossapidon suunnittelulle. Perusteellisella vikamuotojen tutkimisella päästään käsiksi kunnossapidettaviin laitteisiin ja niiden kunnossapitotarpeeseen. Tunnistamalla piilevät viat voidaan ennakkohuoltosuunnitelma suunnitella käytännönläheisemmäksi ja paremmin todellisuutta vastaavaksi. Piilevän vikaantumisen tutkiminen lämpökeskuksilla on ennakkohuoltosuunnitelman valmistelemaa työtä.

## 1.1 Jyväskylän Energia-konserni

*Jyväskylän Energia Oy on JE-konsernin emoyhtiö. Sen tavoitteena on olla palveleva, energia-alan osaaja sekä haluttu työnantaja. Jyväskylän Energia kehittää alan osaamista ja edistää seudullista yhteistyötä, maakunnan työllisyyttä ja kilpailukykyä.*

*1902 perustettu Jyväskylän kaupungin omistama Sähkölaitos tuotti aluksi jyvaskyläläisille sähköä höyryvoimalla. Kaukolämmön tuotanto alkoi vuonna 1960. Toiminta muuttui 1980 Energialaitos-nimen myötä liikelaitokseksi. 1997 Energialaitoksesta tehtiin osakeyhtiö, Jyväskylän Energia Oy. Yhtiö osti omistajaltaan vesiliiketoiminnan 2006.*

*Tänään Jyväskylän Energia Oy tytäryhtiöineen tuottaa, myy ja jakelee sähköä, lämpöä ja vettä omistamissaan verkoissa. Sähköä myydään koko Suomen alueelle. Toteuttaakseen tavoitteitaan JE-yhtiöt kehittävät palvelujaan sekä niihin liittyviä ratkaisuja asiakastarpeet ja ekologia huomioiden.” (JE-yhtiöt .nd.)*

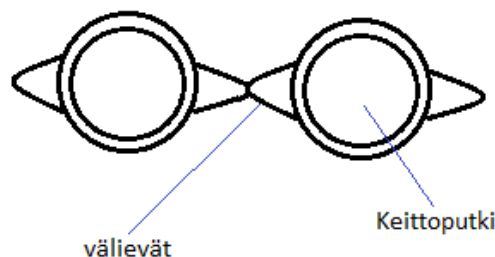
Jyväskylän Energia tuottaa asiakkailleen sähköä, lämpöä ja vettä. Jyväskylän Energian päätuotantolaitokset ovat Keljonlahden ja Rauhalahden voimalaitokset, jotka sijaitsevat Jyväskylässä. Laitoksilla tuotetaan Jyväskylän alueen tarvitsema sähkö ja kaukolämpö. Lisäksi yhtiöllä on pieniä laitoksia, joita kutsutaan lämpökeskuksiksi. Lämpökeskuksia käytetään Jyväskylän kaupungista erillisten alueiden, kuten Korpilahden lämmittämiseen ja kaupunkialueella lisä- ja varavoiman tuotantoon. Korpilahdella sijaitseva lämpökeskus on puupolttoainetta ja turvetta käyttävä biokattilalaitos. Mustankorkean kaatopaikan yhteydessä on kaukolämpöä tuottava kaasulämpökeskus. Keskus toimii Mustankorkean kaatopaikan tuottamalla biokaasulla. Lisäksi Jyväskylän Energialla on 13 alueellista lämpökeskusta ja yksi vesivoimalaitos.

Keljonlahden voimalan kattilateho on 495MW ja Rauhalahden voimalaitoksella kattilateho on 267MW. Laitosten teho käytetään kaukolämpöverkoston lämmittämiseen ja sähkön tuotantoon. Alueellisten lämpökeskusten kattilatehot vaihtelevat noin 3-40MW välillä ja niitä käytetään kaukolämpöverkoston lämmitykseen. Oman sähköntuotannon lisäksi yhtiö ostaa sähköä sähköpörssistä. Oma sähköntuotantoa vuonna 2012 oli 44 % myydystä sähköstä ja loput 56 % oli sähköpörssistä ostettua. Jyväskylän Energia hankkii lisäksi tuulisähköä Suomen Hyötytuuli Oy-osakkuusyhtiön kautta noin 12 GWh vuodessa. Lähde: (Myyämme sähkön alkuperä. n.d.)

JE-yhtiöiden liikevaihto vuonna 2012 oli n.200 miljoonaa euroa. Sähköä myytiin 1260 GWh ja sähköä siirrettiin omalla alueella 654 GWh. Lämpöä tuotettiin 1129 GWh. Puhdasta vettä laskutettiin 7,72 miljoonaa kuutiota ja jätevettä 7,76 miljoonaa kuutiota. JE-yhtiöillä on henkilöstöä noin 230. (JE-yhtiöt .nd.)

## 1.2 Kuokkalan lämpökeskus

Kuokkalan lämpökeskus on vuonna 1989 rakennettu raskaalla polttoöljyllä toimiva kattilalaitos. Kattila on perinteinen U-kirjaimen muotoinen U-putkikattila, joka koostuu polttimesta, tulipesästä, keittoputkista, savukaasukokoojista, konvektio-osasta ja turbulenssielimestä. Kuokkalan lämpölaitoksen kattilassa on lisänä turbulenssielin, joka parantaa savukaasujen pyörteilyä konvektio-osassa ja täten parantaa kattilan hyötysuhdetta. Kattila on rakennettu yhteen hitsatuista membraaniseinämistä ja putkista. Membraanirakenne on yleinen lämpökattiloiden rakennetyyppi, jossa kattilaputket on hitsattu välievistä yhteen kaasutiiviiksi seinämäksi. Seinämä muodostaa tulipesän. Poltin on sijoitettu kattilan yläosaan. Toisesta päästä kattilaan pumpataan kaukolämpövesi. Vesi ja savukaasut virtaavat kattilassa vastakkaisiin suuntiin, jolloin veden lämmitys on mahdollisimman tasaista ja tehokasta. Kyseessä on kuumavesikattila, jonka läpi kaukolämpövesi johdetaan suoraan kaukolämpöverkkoon.



**Kuvio 1 Kattilaputkien membraanirakenne**

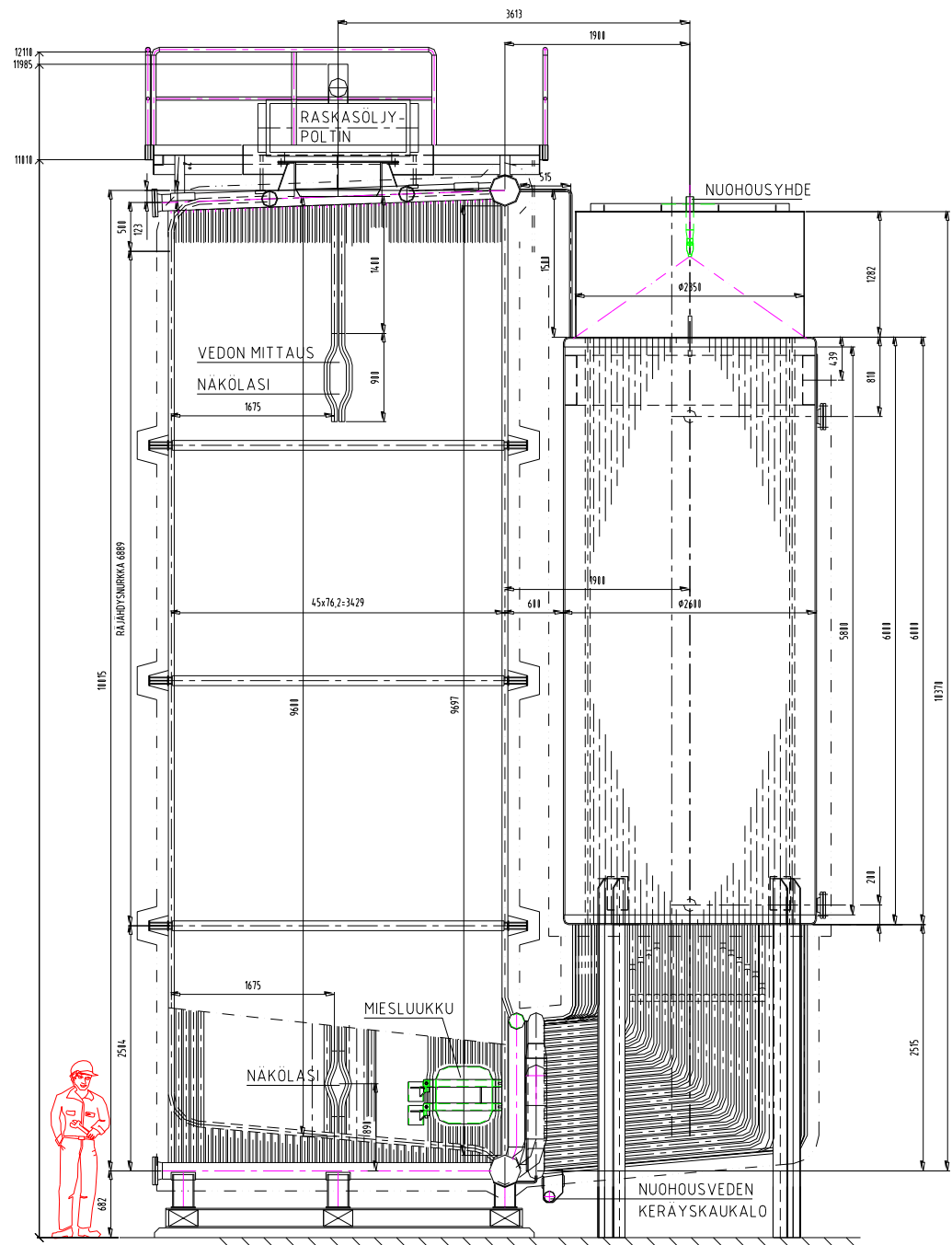


Lämpökeskuksien kattiloita on kahta tyyppiä, kuumavesikattilat ja kuumahöyrykattila. Kuumavesikattilat voidaan jaotella vielä lämmönvaihtimilla varustettuihin ja suoravesikattiloihin. Lämmönvaihtimilla varustetut kattilat toimivat siten, että kattila toimii omana erillisenä vesipiirinään ja lämpö siirretään kaukolämpöverkkoon lämmönvaihtimilla. Jos kyseessä olisi kuumahöyrykattila, höyryn lämpö johdettaisiin kaukolämmönvaihtimelle ja sitä kautta kaukolämpöverkkoon. Kuumahöyrykattilan ja lämmönvaihtimella varustetun vesikattilan hyötysuhde on parempi, kuin suoravesikattilan, koska lämmönvaihtimen avulla saadaan siirrettyä tehokkaammin lämpöenergiaa kaukolämpövedeen. Hyötysuhde on parempi, sillä höyryn ja veden lämpötilaa ja painetta voidaan nostaa kattilapiirissä korkeammaksi, kuin mitä kaukolämpöverkon veden arvot ovat. Suoravesikattilan kaukolämpöverkkoon johdettavan veden lämpötilaa säädelään polttimen teholla. Shunttipumppu esilämmittää kattilaan menevää vettä kuumalla kattilasta poistuvalla vedellä. Shunttipumppu kierrättää kaukolämpövedtä ja sekoittaa kuuman ja kylmän veden ennen kattilaan menoa. Shunttaus toimii veden esilämmittimenä. Kun kattilaa ajetaan ylös, suurin suositeltava kattilaveden lämpötilan nostonopeus on kattilasta riippuen 1,5C-3 °C minuutissa. Kattilaan menevän ja sieltä poistuvan kaukolämpöveden lämpötilaero ei saa olla yli 40 °C. Voimakkaat kuormituksen vaihtelut aiheuttavat kattilassa lämpöjännityksiä. Samoin käy jos veden lämpötilaero on liian suuri. Seisokin aikana kattila pidetään käyttövalmiudessa koko ajan lämmittämällä polttoaineena käytettävää raskasöljyä ja kierrättämällä kaukolämpövedtä kattilan läpi kiertovesipumpuilla. Lämpösäilytyksellä varmistetaan se, että lämpölaitos saadaan tarvittaessa nopeasti tuotantoon. Raskasöljyä lämmitetään aina, jotta se on riittävän juoksevaa pumpattavaksi ja poltettavaksi.

Kattilan tulipesä on ylipaineistettu isolla palamisilmapuhaltimella. Palamisilma johdetaan tulipesään polttimen juureen palamisilmakanavaa pitkin. Ylipaineistettu ilma muuttuu tulipesässä paloprosessin myötä savukaasuiksi ja se johdetaan savukaasukanavistoon. Savukaasu kulkeutuu kattilan alaosan välikanavaan, joka ohjaa kuumat savukaasut edelleen konvektio-osaan. Konvektio-

osassa savukaasut pyörteilevät keittoputkien sisäpinnoilla ja lämmittävät kaukolämpövettä, joka on keittoputkien ulkopuolella. Tuliputkilta savukaasut virtaavat nokikaappiin ja sitä kautta savupiippuun. Savukaasut puhdistetaan puhdistusjärjestelmässä ennen savupiippuun johtamista.

Kuokkalan lämpökeskus edustaa perinteistä lämpökeskusta hyvin, sillä sen toimintatapa on perinteinen ja sen ikä on keskitasoa. Keskus seisoo suurimman osan vuodesta ja käyntiaste on huomattavasti alentunut alkuperäisestä arvosta. Lämpökeskukset palvelevat nykyään lähinnä varavoiman tuotannossa. Nykyään kaikki lämpövoima tuotetaan Jyväskylän Energian päälaitoksilla. Ennen lämpökeskuksia käytettiin säännöllisesti huippulämmön tuotantoon kovilla pakkasilla.



**Kuvio 2 Perinteinen lämpölaitoksen kattila**

(Liite 1)

## **2 TARVE KUNNOSSAPITOSUUNNITELMALLE**

Lämpölaitoksille tarvitaan uusi ennakoiva kunnossapitosuunnitelma. Jyväskylän Energialla on jo olemassa kunnossapitosuunnitelma, joka on tehty 90-luvulla. Edellinen suunnitelma on vanhentunut sillä lämpölaitosten käyntiaste ja – tapa on muuttunut. Öljykäyttöiset lämpölaitokset ovat nykyään varalla ja esimerkiksi Kuokkalan lämpökeskuksen vuoden 2013 käyntiaste oli noin 1,6 %. Bioenergialla toimivien lämpölaitosten käyttöaste on noin 90 %.

Perehtymällä piilevään vikaantumiseen, valmistaudutaan uuden kunnossapitosuunnitelman laadintaan. Vikamuotojen kartoitus on oleellinen osa ehkäisevän kunnossapidon suunnittelua. Suurin osa lämpökeskuksilla ilmenevistä vioista on vuotoja lukuun ottamatta piileviä. Piilevät viat täytyy erikseen käydä etsimässä ja laitteet tulee testata toiminnan takaamiseksi. Raportti piilevästä vikaantumisesta on valmistelemaa työtä kunnossapitosuunnitelmalle. Ennakoidulla kunnossapidolla pyritään minimoimaan kustannuksia lämpölaitoksella, joiden tulee olla toimintavalmiudessa. Ennakoiva kunnossapito minimoi tuotannonmenetystä ja tällöin lämpölaitosten kunnossapitotoimet ovat perusteltuja.

### **2.1 Lämpökeskusten toiminnan tärkeys**

Lämpökeskukset ovat kaupungin alueellisia lämmöntuottolaitoksia. Kukin lämpökeskus kykenee tuottamaan tietyn kaupunginosan tarvitseman lämmön. Normaalissa tilanteessa kaukolämpö johdetaan alueelle voimalaitokselta kaukolämpöverkkoa pitkin. Lämpökeskusta tarvitaan silloin jos kaukolämpöverkon lämmönjakelu on jostain syystä estynyt. Näin voi käydä esimerkiksi silloin jos kaukolämpöputki alkaa vuotamaan ja alueen lämpöverkko joudutaan vuodon takia eristämään.

Lämpökeskus käynnistetään jos lämpöverkkoon ei pystytä toimittamaan lämpöä toista reittiä pitkin tai jos kaukolämpövesi jäähtyy liikaa pitkässä verkossa. Kaukolämpöverkko pyritään rakentamaan sellaiseksi, että kaukolämmön toimittaminen kohteelle on mahdollista useammasta suunnasta. Tällaista verkkoa kutsutaan rengasverkoksi. Lisäksi lämpölaitosten tulee olla toimintakunnossa, jotta voidaan varmistua siitä, että asiakas saa varmasti kaukolämpöä joka tilanteessa. Aina kaukolämpöverkosto ei ole riittävän kehittynyt, jotta lämpöä voitaisiin johtaa useammasta suunnasta. Tällöin lämpökeskusten ylläpito on tärkeää. Lämpölaitosten ylläpito on halvempaa kuin yhteenlaskettu tuotannonmenetys ja asiakkaiden lämmönpuutteesta aiheutuneiden vaurioiden korjaaminen. Lämpölaitosten ylläpidolla voidaan katsoa olevan positiivinen vaikutus myös asiakastytyvyyteen toimitettaessa tasalaatuista kaukolämpöä.

### 3 KÄYNTIASTE JA KÄYTETTÄVYYS

#### 3.1 Käyntiaste

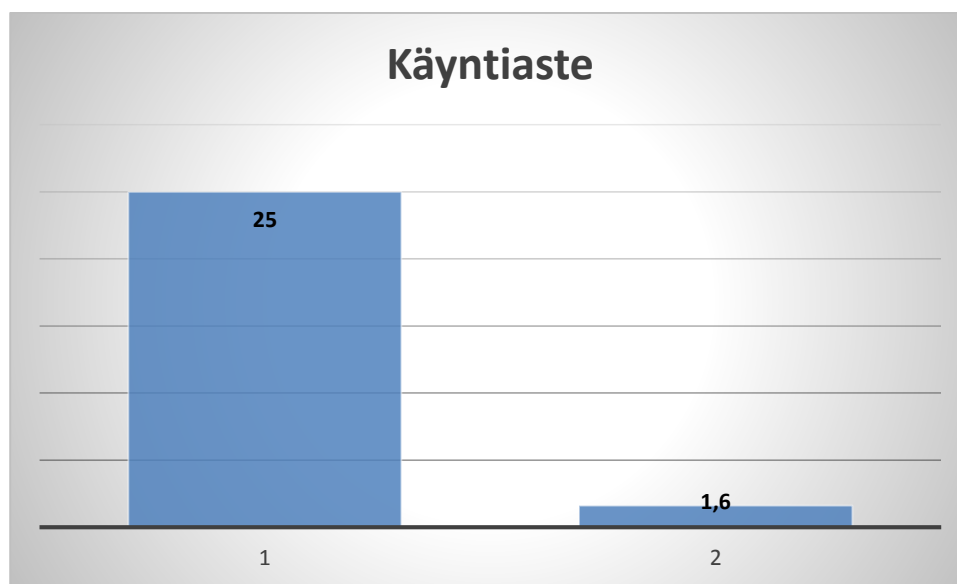
Käyntiaste on eräs kunnossapidon mittari. Käyntiasteella pystytään seuraamaan kunnossapidon asetettujen tavoitteiden saavuttamista ja tuotannon tehokkuutta. Onnistuneella kunnossapidolla käyntiastetta saadaan nostettua. Käyntiasteella mitataan laitteen tai laitoksen käyttöä verrattuna käytettävissä olevaan kalenteriaikaan. Jos lämpökeskus on ollut käytössä 30 vuorokautta vuodessa, saadaan käyntiasteeksi:

$$\frac{30}{365} = 0,0822 \approx 8,2 \%$$

Yleensä käyntiaste lasketaan laitteen tai laitoksen käyntitietojen perusteella. Käyntiasteen laskenta on hyvin yksinkertainen. Siinä otetaan huomioon vain, oliko laite tai laitos tarkasteltuna ajanjaksona käytössä vai ei. Käyntiasteen

laskennassa ei oteta kantaa eikä huomioida syitä, jotka vaikuttavat käyttöön tai käyttämättömyyteen. Kaavassa laite joko on käytössä tai ei ole käytössä laitteen omistussuhteen aikana.

Jyväskylän Energian lämpökeskusten käyntiaste on laskenut huomattavasti alkuperäisistä arvoista. Uudella 2010 valmistuneella Keljonlahden voimalaitoksella pystytään korvaamaan raskasöljykäyttöiset lämpökeskukset. Lämpökeskukset ovat nykyään varavoimana isoille lämpölaitoksille, joten lämpökeskusten käyntiasteen putoaminen on väistämätöntä. Aiemmin lämpökeskusten käyntiaste vuodessa oli noin 25 % koska oli normaalia tuottaa huippulämpöä raskasöljykäyttöisillä lämpökeskuksilla. Vuonna 2013 käyntiaste oli vain 1,6 % ja lämpökeskuksia käytetään ainoastaan varavoimana. Muuttunut käyntiaste vaikuttaa toteutettavaan kunnossapitotaktiikkaan. Piilevälle vikaantumiselle on otolliset olosuhteet vähäisen käytön takia. Kuva havainnollistaa lämpökeskusten käyntiasteen dramaattista muutosta 90-luvulta 2010-luvulle.



Kuvio 3 Käyntiaste 1990 ja 2010-luvuilla

### 3.2 Käytettävyys

Käytettävyys on eräs kunnossapidon mittari. Sitä voidaan käyttää myös tuotannon mittarina ottamalla huomioon resurssipuutteet ja esimerkiksi toimitusketjun täsmällisyys.

*”SFS-EN 13306:2010:n määrittelyn mukaan käytettävyys on kohteen kyky olla tilassa, jossa se kykenee tarvittaessa suorittamaan vaaditun toiminnon tietyissä olosuhteissa olettaen, että vaadittavat ulkoiset resurssit ovat saatavilla. Luotettavuustarkasteluissa kohteen kyky määritellään todennäköisyydeksi, että se*

*kykenee suorittamaan vaaditun toiminnon edellä mainituin lisämäärittelyin.” (Järviö, Lehtiö 2012, 59.)*

Kunnossapidossa käytettävyydellä lasketaan käyttöajan ja häiriöajan suhdetta ja siinä otetaan huomioon laitteen tai laitoksen odottamaton vikaantuminen ja suunniteltu huoltoseisokki. Käytettävyys lasketaan siten, että toteutunut tuotantoaika jaetaan suunnitellulla tuotantoajalla. Suunniteltuun tuotantoaikaan ei lasketa mukaan suunniteltuja huolto- ja korjausaikoja. Toteutunut tuotantoaika vähenee esimerkiksi odottamattoman vikaantumisen takia. Toteutunut tuotantoaika on

$$\begin{aligned} & \text{Suunniteltu tuotantoaika} - \text{suunnitteleman tuotannon seisokki} \\ & = \text{toteutunut tuotantoaika} \end{aligned}$$

Esimerkiksi jos lämpökeskusta on suunniteltu käytettäväksi vuodessa 230 päivää ja toteutuneita käyttöpäiviä oli yllättävien vikaantumisten takia 215 päivää, saadaan käytettävyydeksi

$$\frac{215}{230} = 0,9347 \approx 93,5 \%$$

Piilevä vikaantuminen vaikuttaa etenkin käytettävyyden prosenttilukuun, sillä käytettävyyden laskennasta on jo etukäteen poistettu suunniteltuihin huoltoihin

ja korjauksiin käytettävä aika. Piilevä vikaantuminen on aina odottamatonta vikaantumista. Käytettävyyden ja hyvän vikaantumishistorian avulla voidaan tutkia erityisen hyvin piilevää vikaantumista lämpökeskuksella. Kunnossapitohistoriaan pohjautuen on helppo eritellä piilevän vikaantumisen vaikutuksia. Arviointiin voidaan ottaa mukaan myös piilevän vikaantumisen estämiseen käytetyt resurssit, jotta tiedetään, onko kunnossapitotoimi ollut tehokas. Rahallista tai muuta resurssipanosta verrataan käytettävyyden nousuun. Piilevän vikaantumisen osuutta käytettävyydsprosenttina verrataan kunnossapitokustannuksiin, jotka kohdistettiin piilevän vikaantumisen korjaamiseen. Vikadatan keräämiseen on saatavilla useita kunnossapidon toiminnanohjausjärjestelmiä. Yksinkertaisimmillaan kunnossapitodataa voidaan kerätä Excel-taulukkoon.

### 3.3 Käytönaikainen käytettävyys

Käytönaikaista käytettävyyttä on hyvä soveltaa sellaisiin laitteisiin ja laitoksiin, jotka ovat seisokissa pitkiä aikoja. Suunnitelluksi tuotantoajaksi valitaan se aika, jonka laite tai laitos on ollut käytössä.

Esimerkiksi jos lämpökeskusta tarvitaan vuodessa 4 viikkoa = 28 päivää ja loput ajasta keskus on ollut seisokissa, valitaan suunnitelluksi tuotantoajaksi 28 päivää. Yksi päivä tarvittiin lämpökeskuksen ylösajoon ja yhtenä päivänä keskuksella oli häiriö. Tällöin käytönaikainen käytettävyys on

$$\frac{26}{28} = 0,9286 \approx 92,9 \%$$

*”Käsitettä käytönaikainen käytettävyys ei ole määritelty standardeissa, mutta sitä käytetään varsin yleisesti varalaitteiden ja muiden harvoin käytettävien koneiden yhteydessä. Käytönaikainen käytettävyys antaa paljon todellisemman kuvan harvoin käytetyn koneen tai varalaitteen (esimerkiksi sairaalan varavoimala) luotettavuudesta kuin käyttö- tai käyntiaste.” (Järviö, Lehtiö 2012, 58.)*



### 3.4 Käyntiaste ja käytettävyys Jyväskylän Energialla

Jyväskylän lämpökeskuksien kunnossapitodataa on niukasti saatavilla. Lämpökeskuksille on tehty vuosihuollot ja niille suoritetaan tarkastuskierroksia kahdesti viikossa. Tarkastuskierroksilla havaituille vioille tehdään kunnossapitotyö sitä mukaan, kun vikoja ilmenee. Lisäksi lämpökeskuksilla pyritään ajamaan koekäyttö kerran vuodessa. Lämpökeskuksille on siis sovellettu lähinnä korjaavaa kunnossapitoa. Historiatietoa ei ole kerätty.

Käyntiaste saadaan laskettua Jyväskylän Energialla todella hyvin, sillä lämpökeskusten käyttöpäivät ovat tiedossa. Käytettävyysmittareiden käyttö lämpökeskuksilla sen sijaan on mahdotonta, sillä vikadata on vielä toistaiseksi edellä mainituista syistä puutteellista. Siksi opinnäytteessä on keskitytty käytännön havaintoihin, joilla pystytään varautumaan piilevään vikaantumiseen muilla lämpökeskuksilla. Teoriapohja antaa neuvoja tulevaisuuden toimia varten. Käytännön havainnot auttavat nykyistä kunnossapidon toiminnanohjausta. Ensisijaisena tavoitteena on ottaa käyttöön välineet kunnossapitotietojen keräämiseksi. Jyväskylän Energialla on käytössään Maximo-toiminnanohjausjärjestelmä, johon tiedot kunnossapidosta voidaan tulevaisuudessa kirjata. Kunnossapidon historiatietojen ja käytettävyyslaskujen avulla kyetään mittaroimaan kunnossapitoa.

## 4 PIILEVÄ VIKAANTUMINEN

Piilevä vikaantuminen on olemassa oleva vika, jonka syntyä ei ole voitu havaita. Vika saattaa jäädä havaitsematta esimerkiksi siksi, että laitteeseen ei ole rakennettu riittävästi tarkastusluukkuja ja aukkoja. Vian synty ei ole ihmisastein havaittavissa tai jokin laitteen rakenne estää vikaantumisen tarkkailun.

Opinnäytteessä myös sellaiset viat on käsitelty piilevinä vikoina, joiden havaitsemiseen tarvitaan erityisiä välineitä. Muun muassa värähtelymittaus tarvitsee tällaisen lisälaitteiston. Uusissa laitteissa ja koneissa saattaa esiintyä myös rakenteellisia suunnitteluvirheitä. Tuotantolaitoksen taustamelu voi myös estää vikahavainnon tekemisen. Muun muassa paineilmavuodot ja laakeriäänet jäävät herkästi havaitsematta meluisassa ympäristössä. kunnossapitostandardi SFS 13306 mukaan piilevä vikaantuminen on ” vikaantuminen, jota ei ole havaittu normaalin käytön yhteydessä”. (SFS-EN 13306)

Piilevää vikaantumista tutkittaessa voidaan ottaa huomioon laitekategoria, vikaantumismekanismi ja ympäristön olosuhteet. Vikaantuvat laitteet ja materiaalit voidaan jaotella kolmeen eri kategoriaan. Nämä kategoriat ovat satunnaisesti vikaantuvat, hitaasti ja suhteellisen hyvin ennustettavasti rapautuvat materiaalit sekä materiaalit, joilla on rajallinen säilyvyys. Muun muassa NASA, National Aeronautics and Space Administration, on antanut tällaisen jaottelumallin piilevälle vikaantumiselle. (Designing for dormant reliability. n.d.)

Lämpökeskuksen vikakategorioihin voidaan lisätä myös laitteet ja kanavistot, joiden pinnoille kerääntyy materiaalia. Yleensä kerrostumista ei voida havaita ajon aikana ja suoria havaintoja ei pystytä tekemään. Viat havaitaan värähtelynä tai kattilatarkastuksessa, kun kattila on ajettu alas.

Satunnaisesti vikaantuvat laitteet ovat perinteisesti sähköisiä komponentteja. Satunnainen vikaantuminen johtuu yleensä materiaali- ja valmistusvirheistä. Kun virheet yhdistyvät huonoihin ympäristöolosuhteisiin saattaa satunnaista vikaantumista esiintyä. Satunnaiseen vikaantumiseen voidaan valmistautua huonosti.

Mekaanisissa koneenosissa satunnaista vikaantumista edustavat laakerit. Järviön ja Lehtiön (2012, 77) kirjan viittauksen G.Westerholmin Laakerien elinikäinen hallinta, Kilpailutekijänä Kunnossapito-kongressi, Tampere,

28.10.2003 mukaan, että laakerit ovat satunnaisesti vioittuvia. Syitä laakereiden vioittumiseen ovat

- 16 % asennusvirheet
- 36 % puutteellinen voitelu
- 14 % epäpuhtaudet
- 34 % muu syy (epätasapaino, irronnut osa, normaali väsyminen)

Hitaasti ja suhteellisen hyvin ennustettavasti rapautuvat materiaalit vaikuttavat olevan yleisiä lämpökeskuksella. Rapautuminen johtuu yleensä epäedullisista ympäristöolosuhteista. Lämpökeskuksella lämpötila on yleensä korkea ja sen raju vaihtelu aiheuttaa rapautumista. Rapautumisesta aiheutuva piilevä vikaantuminen voidaan yleensä kartoittaa käytettyjen materiaalien perusteella ja tunnistaa riskikohteet. Rapautuvia koneenosia ovat lämpökeskuksen historia-tiedon ja tarkastuskierrosten valossa kumi- ja muoviosat, letkut, tiivisteet, muuraukset ja ohuilla metallirivoilla varustetut laitteet, kuten esimerkiksi omakäyttölämmityksen lämmityskennot. Loogisesti voidaan ajatella, että rapautuvien materiaalien takia syntyvät viat ovat pitkäköllä aikavälillä toistuvia, jos materiaalit eivät kehity. Lämpökeskuksella käytettävien materiaalien kohdalla voidaan puhua useamman vuoden kestosta ennen vikaantumista. Kunnossapitohistorian kerääminen on erinomainen keino havaita hitaasti rapautuvat laitteet.

Lämpökeskukselta löytyi myös rajallisen säilyvyyden komponentteja. Niitä ovat muun muassa akut, polttoaineet ja voiteluaineet. Ne menettävät suorituskykynsä tai ominaisuutensa 3-10 vuoden aikana. Lämpökeskuksella rajallisen säilyvyyden komponenteilla on suhteellisen pitkä säilyvyysaika, koska nopeasti säilyvyyden menettäviä komponentteja ei voida käyttää korkean käytettävyyden lämpökeskuksilla.

## 5 VIKA- JA VAIKUTUSANALYYSI

*Analyysin lähtökohtana on pyrkiä tunnistamaan kaikki järjestelmän alimman tason osille ominaiset vikaantumistavat eli vikamuodot. Jokainen tunnistettu vikaantumistapa arvioidaan sekä paikallisesti että sen järjestelmän ylemmälle tasolle aiheuttaman seurauksen mukaan. Seurauksiltaan merkittävimmille vikamuodoille pyritään analyysin aikana määrittämään keinoja vikamuodon ehkäisemiseksi tai siitä aiheutuvien seurausten lieventämiseksi. (FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) - Vika- ja vaikutusanalyysi. n.d.)*

Lämpölaitoksen piilevään vikaantumiseen voidaan soveltaa vika- ja vaikutusanalyysiä. Vika- ja vaikutusanalyysissä pyritään löytämään laitteen toiminto, toiminnallinen vika, vikamuoto, vian aiheuttaja, vaikutus ja seuraus. Lämpölaitoksen toiminto on tuottaa lämpötehoa vaaditulla suorituskyvyllä. Lämpötehoa täytyy pystyä myös säätämään. Toiminnalliseksi viaksi sanotaan lämpölaitoksen komponentin tilaa, joka estää toiminnon toteuttamisen. Toiminnallinen vika voi olla esimerkiksi että tavoiteltua lämmöntuottokykyä ei saavuteta. Vikamuoto ilmoittaa, mikä lämpölaitoksen laite tai laitteen osa on vikaantunut ja estää lämmöntuottokyvyn saavuttamisen. Esimerkkinä voi olla vaikka polttin-  
häiriö jolloin liekki ei pala kunnolla, muodostuu paljon savukaasuja ja lämmön-  
siirto tulikanavista kaukolämpöveleen ei ole riittävä.

Kun vika on saatu selville ja siitä on tehty havainto korjaustoimenpiteiden aloittamiseksi, perehdytään vian aiheuttajaan, vaikutuksiin ja seurauksiin. Piilevän vikaantumisen yhteydessä yleisimmät vian aiheuttajat ovat käytön puute ja ikääntyminen. Yleensä teollisuudessa vian aiheuttajia ovat voitelun puute, epäpuhtaus, liikaraskitus, epäsuotuisat olosuhteet tai asennusvirhe.

Vian vaikutus kertoo, mitä lämpölaitoksella tapahtuu vian ilmettyä. Vaikutuksena voidaan pitää esimerkiksi kahden vuorokauden tuotantoseisokkia kattilaluohouksen ajaksi. Lämpöteho tuotetaan sinä aikana muilla lämpökeskuk-  
silla.

Vian seuraus ottaa kantaa siihen, mitä tuotannonmenetys-, henkilöstö- tai ympäristöriskejä viasta seuraa. Esimerkissä on tuotannonmenetysriski. Lisäksi yhtiölle koituu kuluja kattilan nuohoamisesta ja polttimeen säädöstä. Yksittäisten laitteiden piilevä vikaantuminen aiheuttaa lämpölaitoksella yleensä ainoastaan tuotannonmenetysriskin. Kattilan suojausjärjestelmä estää kuivaksi keiton ja ylipaineen. Merkittävän henkilöstöriskin todennäköisyys lämpökeskuksella on pieni, koska nykyaikaisen lämpökeskuksen rakenne on sellainen, että useampi turva- ja suojausjärjestelmä suojaa henkilöstövahingoilta. Myös merkittävän ympäristökatastrofin todennäköisyys on käytännössä olematon.

Lämpökeskuksen piilevä vikaantuminen esiintyy aina laitetasolla yksittäisinä tapauksina, joten on luonnollista tehdä vika- ja vaikutusanalyysi (VVA) laitetasolle. Alla on annettu esimerkkitaulukko VV-analyysin tekoon.

TOIMINTO	TOIMINNALLINEN VIKA	VIKAMUOTO	VIAN AIHEUT- TAJA	VIAN VAIKU- TUS	VIAN SEU- RAUS

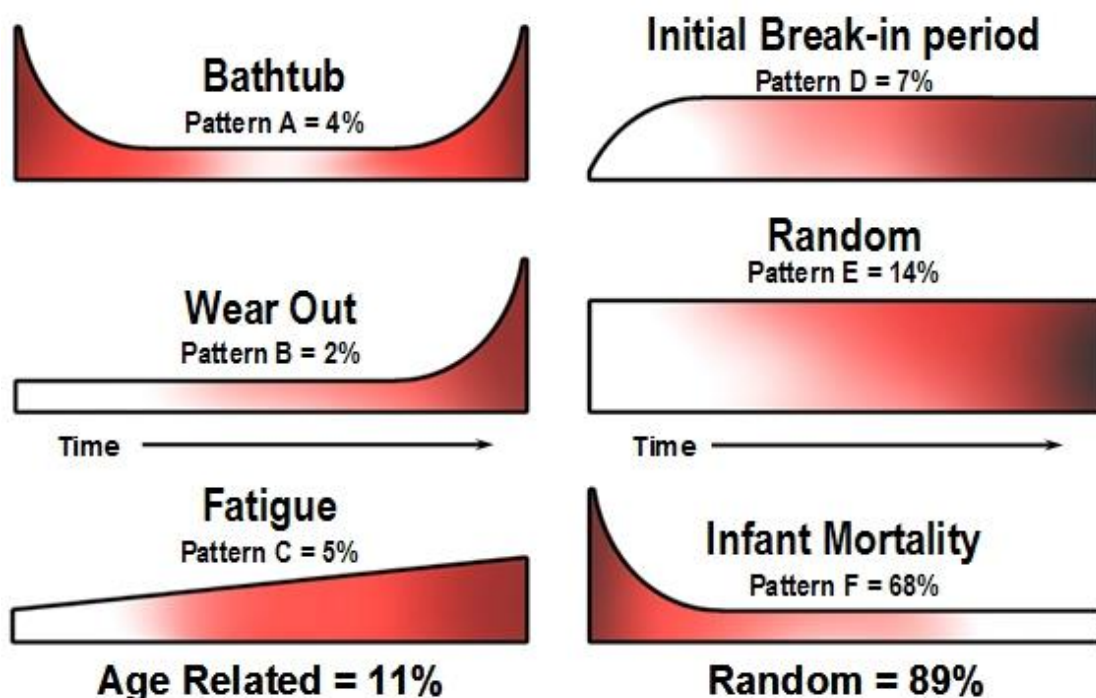
VVA-tilukon täyttäminen on aiheellista silloin, jos lämpökeskuksia on vähän käytössä ja ne on laitettava kriittisyysjärjestykseen. Jyväskylän Energiolla on kaksi päälaitosta ja 13 vanhaa lämpökeskusta. Lämpökeskuksista kuusi on aktiivisesti käytettävissä ja niitä pidetään päävaratuotantolaitoksina. Lämpökeskusten suuren lukumäärän takia VV-analyysi jätettiin pois tarkastelusta. Lähtökohtana pidettiin, että varavoiman on toimittava ja varavoiman tuotantoon kyetään, vaikka jokin lämpökeskus vikaantuisi merkittävästi.

VVA on erinomainen työkalu sellaisille lämmöntuotantoyrityksille, joilla ei ole käytössään yhtä monta lämpökeskusta, kuin Jyväskylän Energiolla on. Analyysi priorisoi huoltokohteita ja antaa viime kädessä rahallisen arvion mahdollisesta vikaantumisesta.

## 6 LIALLINEN KUNNOSSAPITO

Liiallisen kunnossapidon vaikutukset lämpökeskuksilla on syytä ottaa tarkempaan käsittelyyn. Liiallinen kunnossapito aiheuttaa koneiden altistumisen vikaantumiselle joka kerta, kun kone avataan, korjataan tai kasataan. Liiallisella kunnossapidolla lisätään piilevän vikaantumisen riskiä.

Kunnossapidon pioneerit F. Stanley Nowlan ja Howard F. Heap tutkivat vuonna 1978 San Franciscon lentokoneteollisuutta ja tulivat siihen johtopäätökseen että suurin osa koneiden vikaantumisista johtuu niin sanotusta lapsikuolleisuudesta, jossa laite hajoaa todennäköisimmin elinikänsä alkuvaiheessa. Käytön aloittamisen jälkeen vikaantumistodennäköisyys laskee nopeasti. Alkuvaiheen vikaantuminen johtuu yleensä asennus- tai materiaalivirheestä. Tutkimusten perusteella syntyi kuusi vikaantumiskäyrää, joita käytetään vielä nykyäänkin laajalti kunnossapidon perusopinnoissa. Vikaantumiskäyriä tarkasteltaessa lapsikuolleisuus on vikaantumistavoista yleisin 68 % osuudellaan. Käytännössä tämä tarkoittaa, ettei toimivaa laakeria kannata vaihtaa säännöllisin määrääjoin, sillä todennäköisyys uuden laakerin vioittumiselle on suurempi, kuin vanhalla laakerilla. Värähtelymittauksilla päästään käytännössä tutkimaan lämpökeskusten laakerien kuntoa. Seuraavassa kuvassa on lueteltuna Nowlanin ja Heapin johtopäätökset vikaantumistavoista. Kuvaaja F liittyy laakereiden lapsikuolleisuuteen. Jos laakeri avataan tai vaihdetaan liian usein, on riskinä kohonnut lapsikuolleisuus. Liikaa huollettaessa F-käyrän vikaantumistodennäköisyyspiikki toistuu kun laakeri avataan tai vaihdetaan.



Kuvio 4 Nowlanin ja Heapin vikaantumismallit

(Resources for Maintenance & Reliability Professionals. n.d. )

Käyttöasteen ollessa pieni, saatetaan herkästi tehdä kunnossapitotoimia liikaa. Kunnossapitotoimet on hyvä suhteuttaa lämpökeskuksen käytönaikaiseen käytettävyyteen.

Liiallinen kunnossapito on myös kustannustekijä. Liikakustannuksia muodostuu esimerkiksi materiaaleista, työntekijäkuluista ja kilometrikorvauksista. Alentunut luotettavuus näkyy viime kädessä myös yhtiön taloudessa. Öljy- ja rasvavaihdot tulee mitoittaa oikein. Lisäksi käytön hihnoilla ja muilla kuluvilla kohteilla tulee siirtyä kuntoon perustuvaan kunnossapitoon, jossa silmämääräisesti tarkastetaan laitteiden kunto. Turhaa öljyjen ja komponenttien vaihtamista tulee välttää viimeiseen asti, sillä pienellä käyttöasteella komponenttien käyttötunnit eivät tule täyteen.

Liiallinen kunnossapito voi aiheuttaa myös muita ongelmia. Tässä toimii esimerkkinä vierintälaakerit. Liian usein rasvattavat ja vähällä käytöllä olevat laakerit saattavat ylikuumentua liikarasvauksen takia.

”Liian suuri rasvamäärä laakeripesässä voi aiheuttaa lämpötilan voimakkaan nousun ja laakerin vaurioitumisen.” KOJA ilmankäsittelytekniikka keskipakoispuhaltimet käyttö- ja hoito-ohje. Liite 2

*Kun laakeria voidellaan, se täytetään kokonaan rasvalla. Kun laakeri täytön jälkeen käynnistetään, vierintäelimet työntävät rasvaa laakerin ympärillä olevaan tilaan. Tästä aiheutuu käynnin alkuvaiheessa kohonnut laakerin kitka sekä lämpötilan nousu. Laakeripesän täyttöasteeksi suositellaan puolestaan 30–50 % pesän tilavuudesta, jotta siirtyvälle rasvalle ja rasvan lämpölaajenemiselle jää riittävästi tilaa. Näin ei ole vaaraa laakerin liiallisesta lämpenemisestä.*

(Voiteluaineet: Perusteet. n.d.)

## 7 PIILEVÄ VIKAANTUMINEN LÄMPÖKESKUKSELLA

Piilevä vikaantumista esiintyy usein laitteissa ja laitoksissa, jotka seisovat käyttämättöminä pitkiä aikoja. Suurimmat ongelmat aiheutuvat korroosiosta, tiivisteiden kovettumisesta ja laitteiden ikääntymisestä. Mekaanisten vikojen lisäksi Lämpökeskuksella on lukuisia automaatioon ja sähkölaitteisiin liittyviä ongelmia. Tässä opinnäytetyössä otetaan kantaa mekaanisten laitteiden vikaantumiseen.

Rapautuvista materiaaleista aiheutuvat vikaantumiset ovat lämpölaitoksella yleisimpiä. Kuvassa on pitkälle kehittynyt tiivistevuoto käytöstä poistetulla lämpölaitoksella. Pumpun tiiviste on kulunut tai rapautunut. Rapautuvaa tiivistettä



ei voida järkevillä resursseilla ennakkoon havaita koska tiivisteen tarkastelu vaatisi pumpun purkamisen silmämääräistä tarkastelua varten. Kuvan poksi-vuoto on pitkälle kehittynyt ja ei sinällään ole piilevä vika, mutta alkuvaiheen tiivisteen rapautumista ei ole voitu havainnoida ja joissain tapauksissa on mahdollista, että vesi pääsee pumpun laakerille aiheuttaen piilevän laakeri-vaurion.



**Kuvio 5 Pitkälle kehittynyt pumpun tiivistevuoto**

Toinen esimerkki lämpökeskuksen rapautuvasta ja hyvin ennustettavissa olevasta viasta on laakereiden kuoppaantuminen. Rajallista säilyvyyttä taas edustavat muun muassa akut, joiden varastointi-ikä on rajallinen. Rajallisen säilyvyyden laitteita lämpökeskuksella ovat esimerkiksi UPS-järjestelmän akut. Myös laakerirasvat ja voiteluöljyt tulee vaihtaa säännöllisin väliajoin niiden pilaantumisen takia.

Seuraavissa kappaleissa on eriteltynä tarkemmin yhtiön tiedossa olleita ja itse tarkastuskierroksella havaittuja lämpölaitoksen piileviä vikoja. Vikojen syntymekanismi on avattu ja toimia vikaantumisten estämiseksi on esitetty. Lämpö

keskuksen komponentteja tarkasteltiin siten, että niistä on voitu todeta mahdollinen piilevän vikaantumisen mahdollisuus. Lämpökeskuksen yksittäinen komponentti on otettu tarkempaan tarkasteluun, jos piilevä vikaantuminen on mahdollista. Kartoitus perustuu omiin havaintoihin ja kunnossapidon henkilökunnan aiempaan kokemukseen. Laite- ja materiaaliesimerkkien yhteyteen on pyritty keräämään hieman teoretietoa, jotta piilevän vikaantumisen luonne tulee lukijalle paremmin ilmi. Kuvat ovat lämpökeskuksilla ilmenneistä vioista.

## 7.1 Laakerit

Lämpölaitoksen laakerit ovat merkittävässä asemassa, kun puhutaan piilevästä vikaantumisesta. Laakereiden vikaantumismekanismeista on saatavilla paljon tutkimustietoa. Muutama laakerien vikaantumisilmiö liittyy piilevään vikaantumiseen. Laakereiden piilevää vikaantumista aiheutuu pääasiassa korroosiosta, likapartikkeleista voiteluaineessa ja micro pitting sekä brinelling-ilmiöistä. Lisäksi voiteluaineen vanheneminen on ilmeinen piilevän vikaantumisen aiheuttaja. Voiteluaineiden vanhenemista käsitellään kappaleessa 7.11 Voiteluaineet.

(KOYO Ball & Roller bearings: Failures, Causes and Countermeasures. 2014. Tietoa laakereiden vikaantumisesta.)

Laakerin sisälle päässyt kosteus aiheuttaa korroosiota. Kosteus voi päästä laakerikehille tiivistyksen pettämisen seurauksena tai lämpötilanmuutosten takia. Lämpötilanmuutoksissa ilma paisuu ja kutistuu, jolloin laakerin sisäpuolelle kulkeutuu uutta ilmaa. Ilman mukana siirtyy kosteutta, joka tietyissä olosuhteissa voi tiivistyä vedeksi laakerin sisäpinnalle. Sama ilmiö tapahtuu esimerkiksi talvella autoissa, kun tuulilasin sisäpuolelle tiivistyy vesihöyryä ja vesi jäätyy kiinni lasiin.

(NSK Rust and Corrosion. 2014. Tietoa laakereiden korroosiovioista.)

Lämpökeskuksen tasaisesta lämpötilasta johtuen todennäköisempää on, että laakerin tiiviste on pettänyt ja kosteus on näin päässyt laakerin sisälle. Etenkin vesipumpuissa esiintyy laakerikorroosiota tiivistyksen rikkouduttua. Normaalit lämpökeskuksen laakeritiivisteet eivät ole tarkoitettu kestäämään paineistettua vesisuihkua. Lämpökeskuksella tulee välttää vesiletkulla pesua, jotta laakereille ei joutuisi vettä.

Korroosio aiheuttaa laakerikehien tai vierintäelimen vaurion ja vika kehittyy entisestään, kun lämpökeskus käynnistetään. Laakerin korroosio voidaan estää hyvällä rasvavoitelulla ja se voidaan havaita värähtelymittauksella siinä vaiheessa, kun vika on jo olemassa.

Likapartikkelit voiteluaineessa aiheuttavat samantyyppisiä vikoja, kuin korroosio. Pieni likapartikkeli aiheuttaa epätasaisuutta vierintäkehille ja laakerin pyöriessä epätasaisuus kehittyy niin isoksi että laakeri vioittuu. Tärkeässä asemassa likapartikkelien estämiselle on kunnollinen laakerin tiivistys ja puhtaat asennusolosuhteet. Joka kerta kun laite huolletaan tai avataan, on riski sille, että laakereiden vierintäelimille pääsee likapartikkeleita. Turhaa kunnossapitoa tulee myös likaantumisen takia välttää.

Laakereilla voi ilmetä myös mikrokuoppaantumista. Kuoppaantuminen on yleinen vaihderattaiden ongelma. Se johtuu kosketusjännityksen aiheuttamasta metallin pintakerroksen väsymästä. Pitkään paikoillaan olevan laakerin vierintäelimet vastaavat vierimiskehille aiheuttaen pistemäistä kuormaa ja materiaalin väsymistä. Väsymisestä aiheutuu mikrohalkeamia ja pieniä paloja saattaa lohjeta laakerikehältä tai vierintäelimistä. Vioittumisen eteneminen on samanlainen, kuin jos voiteluaineessa olisi likapartikkeleita. Mikrokuoppaantuminen voidaan estää pyörittämällä laakeria säännöllisin väliajoin.

*Micropitting is surface fatigue occurring in Hertzian contacts, caused by cyclic contact stresses and plastic flow on the asperity scale. It results in micro-cracking, formation of micropits and loss of material. Micropitting is also referred to as fatigue scoring, flecking, frosting, glazing, gray staining, microspalling, peeling and superficial spalling.*

(Errichello. R. 2002. Selecting and Applying Lubricants to Avoid Micropitting of Gear Teeth.)

Laakereilla esiintyy myös Brinell-ilmiötä Brinell-ilmiö tarkoittaa vioittumista, jossa laakerikehälle muodostuu kuoppia. Kuopat muodostuvat, kun vierintäeliimet kuormittavat kehää liian kovaa ja siihen syntyy pieniä kuoppia laakerikuulan kohdalle. Brinell-ilmiö voidaan jaotella kahteen kategoriaan, todelliseen ja väärään. Brinell-ilmiötä kutsutaan suomeksi laakerin kuoppaantumiseksi.

Todellinen Brinell-ilmiö johtuu siitä, että laakeriin kohdistuu liian iso staattinen voima. Vierintäelimen kohdalla laakerikehälle tulee iso pistemäinen kuorma joka ylittää materiaalin myötölujuuden. Myötölujuudella tarkoitetaan sellaista voimaa kohdistettuna pinta-alalle, jonka ylittämisen jälkeen materiaalissa alkaa tapahtumaan pysyvää muodonmuutosta. Kullekin materiaalille on olemassa oma myötölujuus. Laakerikehän kuoppaantuminen alkaa, kun myötölujuuden voima ylittyy. Kehälle muodostuu kuoppia, ja laakeri on käyttökelvoton. Kuoppaantuminen voi johtua materiaalivirheestä tai virheellisestä tuotesuunnittelusta ja laakerin alimitoituksesta. Kuoppaantuminen voidaan estää pyörittämällä laakeria säännöllisin väliajoin.

Laakerikehälle voi muodostua myös kuoppia, jotka ovat ulkonäöltään samankaltaisia, kuin todellisessa kuoppaantumisessa. Englanniksi ilmiö on false brinelling. Laakerikehä voi kuoppaantua esimerkiksi virheellisen kuljetuksen tai asennuksen johdosta. Kuljetuksen aikana tulee estää laitteen tärinä, sillä se voi aiheuttaa laakerikehälle liikettä, joka kuluttaa laakerikehälle kuoppia kulumismekanismina. Kuoppaantumista voi tulla myös virheellisen asennuksen takia, jos laakeri asennetaan siten että siihen kohdistuu iskuja tai voimia, jotka ylittävät materiaalin myötölujuuden.

(Langnau. L. 2013. How bearings fail—a closer look at brinelling.)

Laakeri tulee asentaa siten, että voima kohdistetaan vaihtoehtoisesti ulko- tai sisäkehälle riippuen siitä, kummalla on tiukka sovite. Jos laakeri asennetaan tiukalle akselille, tulee asennusvoimat kohdistaa sisäkehälle. Jos tiukka sovite

taas on esimerkiksi laakeripesässä, tulee asennusvoima kohdistaa ulkokehälle. Näin vältetään kohdistamasta myötölujuuden ylittävää voimaa vierintäelimille ja laakerikehille.

Laakerit voivat vioittua myös liiallisen kuumenemisen takia. Kuumeneminen johtuu yleensä liian runsaasta tai liian vähäisestä voitelusta. Liian vähäinen voitelu aiheuttaa kitkapintojen liiallista kosketusta ja laakeri kuumenee. Liian runsas voitelu voi myös aiheuttaa laakerin liiallisen kuumenemisen. Kun laakerin vierintäelimet joutuvat jatkuvasti siirtämään voiteluainetta edellään, itse rasva kuumenee ja aiheuttaa laakerivaurion. Laakeripesässä pitää olla tilaa, jotta liika rasva mahtuu pois vierintäelimen välistä. Rasvan voitelevat ominaisuudet häviävät laakeripesän liiallisessa lämpötilassa.

*Under equilibrium conditions the rate at which heat is generated within a bearing is equal to the rate at which heat is carried away. It is essential that the oil film temperature at which this balance occurs be satisfactory. Temperatures in the range of 71 °C (160 °F) are commonly used; temperatures above 93 °C to 121 °C (200° to 250 °F) are generally unsatisfactory because of possible deterioration of petroleum-base lubricants and damage to some common bearing materials.*

(Juvinal, Marshek 2006, 542)

## 7.2 Korroosio

Korroosio on yleinen ongelma kattilalaitoksella. Korroosiosta on helposti tutki-  
mustietoa saatavilla. Lämpökeskuksella yleisiä korroosiosta kärsiviä kohteita  
ovat kattilan keittoputket, säätöelimet, venttiilit, putkistot ja nuohousvesijärjes-  
telmä. Lämpökeskuksilla on todettu myös tapauksia, jossa laakereille päässyt  
vesi on aiheuttanut laakerin vierintäkehillä korroosioaurioita. Etenkin laakeri-  
korroosio on piilevä vika, koska laakeri ei ole tarkoitettu purettavaksi ja tarkas-  
tettavaksi. Myös muut kattilan komponentit voivat olla piilevästi syöpyviä, jos  
korroosio tapahtuu laitteiden sisällä. Materiaalivalinnoilla voidaan vaikuttaa  
paljon lämpökeskuksen komponenttien korroosiokestävyyteen. Olemassa ole-  
via komponentteja ei ole taloudellisesti järkevää vaihtaa uusiin heti, vaan lait-  
teen annetaan ruostua niin kauan, kunnes todetaan että ruosteesta on haittaa  
laitteen toiminnalle. Laite tulee vaihdettaessa korvata korroosionkestävistä  
materiaaleista rakennetulla versiolla. Lämpökeskuksen säännöllinen koeajo  
on avainasemassa korroosiosta aiheutuvien piilevien vikojen havaitsemiseksi.

Kattilaputkien syöpyminen aiheuttaa ennenaikaista kattilan kulumista. Jos kat-  
tilan keittoputket ovat pahoin syöpyneet, se voidaan asettaa käyttökieltoon  
painelaitetarkastuksessa. Kattilaputkien sisäpuolella virtaava savukaasu ai-  
heuttaa korroosiota keittoputkille. Painelaitetarkastuksia tekee muun muassa  
Inspecta, joka on omien nettisivujensa mukaan ”Pohjois-Euroopan johtava tar-  
kastus-, testaus-, sertifiointi-, konsultointi- ja koulutusalan palveluyritys.” Pai-  
nelaitetarkastukset tulee suorittaa lakisääteisesti tietyin määraajoin.

(Tietoa Inspectasta. n.d.)

## 7.3 Tiivisteet

Lämpölaitoksella on pääasiassa kahden tyyppisiä tiivisteitä. Nämä tiivisteet  
ovat grafiitti- ja kumitiivisteet. Lisäksi käytetään punostiivisteitä muun muassa

pumppujen pokseissa ja kattilan miehistöluukkujen reunoissa. Miehistöluukkujen reunoissa olevat punostiivisteet repeilevät yleensä ajan kanssa kun luukuja avataan ja suljetaan. Punostiivisteiden kuluminen ei aiheuta merkittäviä vaaratilanteita tai tuotannonmenetystä.

Piilevään vikaantumiseen liittyviä grafiitti- ja kumitiivisteitä löydettiin luonnollisesti Jyväskylän Energian lämpökeskuksilta ja ne voidaan jaotella NASA:n kategorioihin. Vikaantumistavoista voidaan päätellä, että grafiittitiivisteet kuuluvat satunnaisesti vikaantuvien ryhmään. Grafiittitiiviste kestää hyvin lämpöä ja sitä käytetään yleensä kuumien putkistojen laippaliitoksissa laippojen väliin asennettuna. Kokemustiedon perusteella grafiittitiiviste alkaa vuotamaan yleensä siksi, että laipat löystyvät ja mahdollinen putkiston paineisku pääsee laippojen ja tiivisteiden väliin. Korjauskeinona toimii yleensä laippaliitosten kiristäminen, jos putkistovuoto on kestänyt vain vähän aikaa. Grafiittitiiviste on suhteellisen hauras, joten ulos virtaava paineinen höyry tai vesi syö äkkiä grafiittitiivisteeseen uran, jonka jälkeen laippaliitosta ei saada enää kiristämällä pitämään.



**Kuvio 6 Reunavahvistettu grafiittitiiviste**

Kylmissä putkissa käytetään yleensä kumitiivistettä. Kumitiivisteitä käytetään myös säiliöiden kansissa ja kylmävesipumppujen tiivisteissä. Pitkällä aikavälillä kumi kovettuu, haurastuu ja halkeilee. NASA:n jaottelun mukaisesti kyseessä on hitaasti ja suhteellisen hyvin ennustettavasti rapautuvat materiaali. Vika on piilevä, sillä se voidaan havaita vasta, kun vuoto on näkyvää ja tiiviste on jo rikkoutunut. Myös kumitiivisteitä voidaan kiristää. Yleensä kumitiivisteiden kiristäminen toimii paremmin, kuin grafiitti tiivisteellä, sillä kumi on sitkeää ja joustavaa ja vuotokohdan vesi ei pääse syömään kumitiivisteeseen uraa. Materiaalivalinnoilla voidaan vaikuttaa kumitiivisteiden kestävyys.

## **7.4 Sakkaantuminen**

Materiaalin sakkaantuminen ja kertyminen aiheuttaa ongelmia esimerkiksi tuhkanpoistossa ja kiertokaasu- ja savukaasupuhaltimissa. Savukaasukanaviston puhaltimiin saattaa kertyä niin paljon karstaa, että puhaltimessa esiintyy tasapainotushäiriöitä. Tärinä aiheuttaa laakereiden ennenaikaisen kulumisen. Laakereita ja laitteita on hyvä seurata säännöllisesti värähtelymittauksilla. Värähtelymittauksista on kerrottu tarkemmin kappaleessa 11 Värähtelymittaus. Muita keinoja sakkaantumisen tarkistamiseksi ei yleensä ole. Joissain tapauksissa on mahdollista asentaa kurkistusluukku, josta voidaan seurata kattilarakenteiden puhtautta. Puhaltimet ja savukanavisto tulee tarkastaa ja tarvittaessa puhdistaa joka revision yhteydessä.





**Kuvio 7 Kiertokaasupuhaltimen sakkautuma**

Esimerkkinä voidaan käyttää kiinteällä polttoaineella toimivan kattilan kierto-kaasupuhaltimen sakkaantumista. Kiertokaasupuhaltimella voidaan säädellä palotapahtumaa kierrättämällä savukaasua takaisin tulipesään. Lisääntynyt savukaasu vähentää tulipesän happipitoisuutta joten palotapahtumaa saadaan hillittyä, jos lämmitystehoa pitää laskea. Kiertokaasupuhaltimelle suoritettiin värähtelymittaukset normaalin tarkastuskierroksen aikana. Värähtelymittauksissa havaittiin epänormaalia värähtelyä ja kierto-kaasupuhallin purettiin hiekkapuhallusta varten.

Puhaltimen siipiin oli kerääntynyt epätasainen kerros savukaasujen mukana kulkeutunutta nokea ja se aiheutti haitallista värähtelyä puhaltimelle. Värähtely olisi aiheuttanut laakerin ennenaikaisen kulumisen. Puhallin purettiin kattilanuohouksen yhteydessä. Puhaltimeen asennettiin uudet laakerit, se hiekkapuhallettiin ja maalattiin uudestaan. Sakkautuminen todettiin toistuvaksi viaksi, joten puhallinkoteloon tehtiin muutostyö, jonka ansiosta puhallin on helposti irrotettavissa puhdistusta varten.

## 7.5 Kattilamuurausten rapautuminen

Kattilamuurausten rapautuminen on yleinen ongelma etenkin vanhoissa kattiloissa, joita käytetään epäsäännöllisesti. Rapautuminen johtuu etenkin lämpötilavaihteluista. Kattilan käyttöönotossa tulee olla varovainen, jotta rapautuminen saadaan mahdollisimman vähäiseksi. Kattilan yleisissä käyttö- ja huolto-ohjeissa on annettu arvot, joiden mukaan kattila ajetaan ylös. Saman tyyppinen tieto löytyy jokaisesta Jyväskylän Energian lämpökeskusohjeesta. Liian nopea lämmittäminen rapauttaa muurauksia koska nopeasti lämmitettäessä muuraus lämpenee pinnasta enemmän, kuin keskeltä aiheuttaen jännityksiä. Muuraukset tarkastetaan revisioiden ja seisokkien yhteydessä. Ajon aikana rapautumista ei pystytä havainnoimaan, joten kyseessä on piilevä vikaantumisen. Muurausten rapautuminen esiintyy halkeamina, jotka yhdistyvät ja muurauksesta saattaa irrota palasia. Irronneet palaset heikentävät lämpökeskusohjeiden mukaan kattilan lämmönsietokykyä.

Piilevän vian estämiskeinona voidaan käyttää paremmin erittäin kuumiin olosuhteisiin soveltuvia tulimuurauslaasteja. Materiaalivalinnalla voidaan siis vähentää laitteen rakenteesta johtuvaa piilevää vikaantumista. Kattilavalmistajat ja huoltoyritykset tarjoavat kattilamuurauspalveluja ja kattilamuurauksissa ammattitaito on korkealla tasolla.

## 7.6 Kumiosien rapautuminen

Lämpökeskuksella kattilan päällä on jatkuvasti noin 60 asteen lämpötila ja paikoin voi olla jopa kuumempi ympäristö. Kuumimpia paikkoja ovat kattilan yläpuolella olevat tilat. Pitkäaikainen lämpö aiheuttaa ongelmia muovi- ja kumiosille. Muovit ja kumit rapistuvat herkästi kuumassa lämpötilassa. Muovit ja kumit kuuluvat NASA:n jaottelun mukaan hitaasti ja suhteellisen hyvin ennustettavasti rapautuviin materiaaleihin. Lämpökeskuksella tulisi pyrkiä käyttämään mahdollisimman vähän rapautuvia osia kattilan yläpuolisessa tilassa.

Eräs yleinen rapautuva kohde lämpökeskuksella on loisteputkivalaisimien muovikannat, jotka rapistuvat pitkään kestävässä kuumuudessa.

Kuumissa olosuhteissa olevat kumitiivisteet rapautuvat herkemmin, kuin muut lämpökeskuksen tiivistemateriaalit. Esimerkkinä Kuokkalan omakäyttölämmönvaihtimen tiivistevuoto. Lämmönvaihtimen kennot on tiivistetty kumitiivisteellä, joka alkoi vuotamaan. Lämmönvaihdin on koteloitu alumiinipellillä eristevillan sisään. Vika kyettiin havaitsemaan siinä vaiheessa, kun lämmönvaihdinhuoneen lattialla huomattiin lammikko vettä. Lämmönvaihtimen vikaa ei voitu ennakkoon havaita koteloinnin takia ja lämmönvaihtimen suorituskyky oli normaali ennen vikaantumista. Kyseessä oli piilevä vika, joka johtui kumitiivisteiden rapautumisesta.



**Kuvio 8 Omakäyttölämmönvaihdin ilman eristeitä**

Lämmönvaihdin on alkuperäinen ja se on asennettu vuonna 1989. Lämmönvaihtimella otetaan kaukolämpövedestä lämpöä omaan käyttöön erillisellä vesi-glykolikierrolla. Lämmönvaihtimessa lämmitetty vesi käytetään muun muassa lämpimän käyttöveden tuottamiseen ja kattilarakennuksen lämmitykseen. Omakäyttölämmöllä lämmitetään myös kattilan polttimella käytettävää raskasöljyä.



**Kuvio 9 Lämmönvaihtimen kumitiivisteiden rapautuminen**

## **7.7 Venttiilien jumiutuminen**

Lämpökeskuksella on runsaasti venttiilejä. Venttiilejä avataan ja suljetaan silloin, kun kattila otetaan säilönnästä käyttöön ja kun kattilan toimintaa säädelään. Venttiilien tulee luonnollisesti liikkua esteettömästi ja niiden kuuluu avautua ja sulkeutua täysin. Venttiilien toimintaa ei yleensä säännöllisesti erikseen tarkasteta, sillä kattila on säilönnässä. Käytönpuutteesta johtuen venttiilit jumiutuvat ja ulkoisia merkkejä ei kyetä havaitsemaan ilman koekäyttöä. Venttiili voi olla tietyssä tilanteessa kriittinen laite, joka estää laitoksen käynnistymisen. Jos keskuksella on paineilmakäyttöiset venttiilit, on mahdollista että kompressoreilta vikatilanteessa tuleva vesi aiheuttaa korroosiota venttiilissä ja tällöin venttiilin avautuminen ja sulkeutuminen ei ole esteetöntä. Kompressorin voi työntää vettä venttiileille, jos esimerkiksi vedenerottaja on tullut täyteen. Käsi- käyttöisten venttiilien tulee liikkua herkästi ja pysähtyä selkeästi silloin, kun



venttiili sulkeutuu. Loppua kohti jäykistyvä venttiili oireilee jumiutumista. Venttiilien toimintaan tulee kiinnittää huomiota viimeistään vuotuisessa koeajossa. Venttiili aiheuttaa ongelmia kunnossapidolle, jos putkiverkoston haluttua osaa ei kyetä erottamaan huoltotyön ajaksi jumiutumisen vuoksi. Venttiili ei sulkeudu kunnolla ja putkiston osaa ei saada erotettua.

Venttiileissä saattaa esiintyä myös verkoston paineiskuista aiheutuvia ongelmia, jotka aiheuttavat venttiilin läpivuodon. Kuvassa on esimerkkinä läppäventtiili, joka on saanut paineiskun vesiverkosta ja vääntynyt. Läppä ei sulkeudu, sillä läppä ja sen akseli on vääntynyt mutkalle. Kyseessä on kattilan shunttiventtiili, joka säätelee kaukolämpöverkkoon lähtevän veden lämpötilaa.



**Kuvio 10 Paineiskusta vääntynyt shunttiventtiili**

## 7.8 Varavoima

Lämpökeskuksen varavoimana käytetään perinteisesti dieselgeneraattoria. Generaattori tuottaa sähköä laitoksen automaatio- ja ohjausjärjestelmälle sekä pumpuille. Sillä varmistetaan turvallinen ja katkeamaton tuotanto myös siinä tilanteessa, että sähkönjakelu katkeaa. Generaattori käynnistyy sähkökatkon sattuessa automaattisesti. Mikäli generaattori ei jostain syystä käynnistyäkään on vaarana kattilan kuivaksi keitto. Tärkein laite lämpölaitoksella on kiertovesipumppu ja se on sähkötoiminen. Kiertovesipumppu kierrättää kaukolämpö- vettä kattilassa ja estää näin kuivaksi keiton. Jos kattila pääsee kiehumaan kuivaksi, sille joudutaan tekemään painelaitetarkastus. Kattila on käyttökiel- lossa niin kauan kun painelaitetarkastaja on hyväksynyt käytön. Tuotannon- menetys on merkittävä etenkin kiinteän polttoaineen lämpökeskuksilla.

Generaattori käynnistyy henkilöauton tavoin omasta akusta saatavalla säh- köllä. Akku voidaan kategorisoida NASA:n rajallisen säilyvyyden laitteisiin. Akun varauskyky heikkenee ikääntyessä ja joissain tapauksissa akku purkaa itsensä, vaikka varavoimaa ei käytetä. Akun suositeltava käyttöikä on noin kuusi vuotta. Yleensä akku kestää pitempäänkin, mutta toimintavarmuus saat- taa kärsiä. Akun voi testata akkumittarilla tai seuraamalla generaattorin käyn- nistymistä. Akun kestoikä perustuu kokemukseen. Hyväkuntoisella akulla moottori jaksaa startata pirteästi.

Polttomoottorikäyttöisissä generaattoreissa polttoaine vanhenee. Polttoaineet ovat myös rajallisesti säilyviä. Polttoainevalmistaja Neste Oil asettaa tavalli- selle mittaribensiinille maksimissaan noin vuoden säilyvyyden. Muutaman kuukauden säilytysajan jälkeen bensiini on vielä varmasti hyvälaatuista, jos se on säilötty oikein. Pitempiaikaiseen säilytykseen voidaan käyttää pienmoottori- bensiiniä, jota suositellaan kausisäilytykseen. Pienmoottoribensiinin säilyvyys

on noin kahdesta kolmeen vuotta. Bensiinin joukkoon voidaan lisätä säilyvyyttä parantavia lisäaineita ja vanhentunutta bensiiniä voidaan myös elvyttää lisäämällä joukkoon tuoretta bensiiniä. Bensiinin syttymisherkkyys huononee huomattavasti, kun se ikääntyy. Huonosti syttyvä bensiini ei välttämättä jaksakaan käynnistää polttomoottoria.

Varavoiman polttomoottorina käytetään lämpölaitoksella yleensä dieselmoottoria. Dieselmoottori on lähtökohtaisesti luotettavampi kuin bensiinimoottori, sillä polttoaineen sytyttämiseen sylinterissä ei tarvita sähkölaitteita. Mekaanisesti toimiva ruiskutuspumppu on luotettavampi, kuin bensiinimoottorin sytytysjärjestelmä. Dieselin säilyvyys on huomattavasti parempi, kuin bensiinin. Neste Oil tuoteneuvonnan mukaan on ollut tapauksia, jossa maanalaisessa säiliössä ollut lähes 30 vuotta vanha dieselöljy on ollut vielä käyttökelpoista. Käytännössä dieselin varastointiajaksi suositeltiin enintään 10 vuotta. Dieselöljy säilyy paremmin, sillä siinä ei ole ilmaan haihtuvia ainesosia, kuten bensiinissä on. (Neste Oil tuoteneuvonta. 2014.)

Polttoaineiden säilytykseen suositellaan käytettäväksi ilmatiivistä astiaa, joka ei läpäise valoa. Säilytettävä polttoaine suositellaan pidettäväksi viileässä, mutta ei kuitenkaan pakkasessa. ” Polttoaineita suositellaan säilytettävän viileässä paikassa, suljetussa astiassa auringonvalolta suojattuna.” (Öljytuotteiden varastointi. n.d.)

Muutoin varavoimageneraattorin ja moottorin huollossa tulee noudattaa moottorivalmistajan ohjeita. Säännöllisiin vaihtokohteisiin kuuluvat muun muassa polttoainesuodatin ja moottoriöljyt suodattimineen.

Yhtenä varavoiman piilevänä vikana saattaa ilmetä polttoaineputkien ja letkun vuotoa. Letku ei välttämättä vuoda ulospäin vaan vuotokohdasta ilma imeytyy sisään letkuun. Ilma imeytyy letkun sisälle, kun vuotokohta on korkeammalla,

kuin polttoainetankki. Polttoaine valuu takaisin tankkiin ja ilma korvaa polttoaineen. Moottori ei käynnisty tai saattaa sammua hetken ajon jälkeen, kun polttoainejärjestelmässä on ilmaa. Etenkin dieselkäyttöinen polttomoottori on herkkä polttoainejärjestelmässä olevalle ilmalle. Toisinaan vika saatetaan havaita silloin, jos havaitaan että moottori starttaa pitkään ennen käynnistymistä. Polttoainejärjestelmän letkut kannattaa vaihtaa läpinäkyviin dieselöljyä kestäviin letkuihin. Läpinäkyvästä letkusta voidaan helposti havaita polttoainejärjestelmässä olevat ilmakuplat. Kyseessä on hyvin pieni rahallinen investointi, jolla saadaan poistettua yksi piilevä vikaantumismahdollisuus.

Jos polttoaine vuotaa ulospäin, kyseessä ei ole piilevä vika. Yleensä ulospäin suuntautuva vuoto on silmin havaittavissa ja se ei aiheuta vikaa. Vuodon tulee olla merkittävä tai sellaisessa paikassa että esiintyy tulipaloriski, jotta siitä on tuotannon, ympäristön tai turvallisuuden kannalta haittaa.

## **7.9 Kattilakivi**

Lämpölaitosten kattiloihin muodostuu polttotapahtuman yhteydessä kattilakiveä. Kattilakivi on savukaasujen kova kerrostuma, joka täytyy poistaa mekaanisesti kattilasta. Kattilakivi kertyy kattilan keittoputkille ja savukaasukanavan alkupäähän. Kattilakivi on melko harmitonta ja se ei aiheuta suurta tuotannonmenetystä. Kattilan hyötysuhde huononee jos kattilakiveä muodostuu paljon. Kattilakivi poistetaan mekaanisesti esimerkiksi piikauskoneella revisioiden yhteydessä.





**Kuvio 11 Kattilakiveä kiinteän polttoaineen kattilan tulipesässä**

Kattilakiven muodostumista ei voida suorasti havainnoida käytön aikana, joten kyseessä on piilevä vika. Savukaasujen kohonnut lämpötila antaa viitteitä no-keentuneesta kattilasta tai kattilakiven muodostumisesta. Lämpölaitos täytyy ajaa alas, jotta tulipesän ja kanaviston rakenteet voidaan tarkastaa. Kyseessä on piilevä vikaantuminen ja se voidaan kategorisoida viaksi, jossa materiaalia kertyy laitteiden pinnoille. Kattilakiveä muodostuu kattiloissa, joilla ajetaan pitkiä aikoja. Kattilakiveä muodostuu etenkin biokattiloilla, kun niillä ajetaan pienellä teholla.

## **7.10 Kompressor**

Kompressor tiivistää ilmaa paineistetuksi ja samalla osa ilmassa olevasta vesihöyrystä tiivistyy vedeksi lämpötilanmuutosten takia. Vettä kertyy kaikkiin

kompressoreihin pieniä määriä. Veden kerääntyminen kiihtyy silloin, kun ilma on kosteaa tai kylmää. Etenkin ulkoilmassa tai ulkorakennuksessa sijaitsevat kompressorit tiivistävät vettä herkästi. Vesi on haitallista kattilalaitoksella sillä se saattaa päätyä toimilaitteille, jotka kärsivät veden aiheuttamasta korroosiosta. Toimilaitteita voi olla esimerkiksi paineilmakäyttöiset säätö- ja sulkuventtiilit, jotka säätelevät kattilan toimintaa.

Lähtökohtaisesti kompressorin tulee tuottaa kuivaa ilmaa. Isommissa kompressoreissa on ilmankuivaimet ja vedenerotin ja pienissä kompressoreissa pelkkä vedenerotin. Jos ison kompressorin vedenerottimeen kertyy vettä, voidaan todeta, että kuivain on epäkunnossa. Kuivaimen toimintaa ei pysty tarkkailemaan käynnin aikana, joten kyseessä on piilevä vikaantuminen. Normaalisti kompressoreissa on paineilmalähdön vedenerottajat, jotka poistavat veden paineilmaasta. Kompressorissa käytetään yleensä myös öljynerottimia, joilla erotetaan kompressorioiljy paineilmaasta. Veden- ja öljynerottimien täyttyminen ei suoraan ole piilevää vikaantumista, koska erottimen lasit ovat yleensä läpinäkyviä ja niiden täyttyminen kyetään havaitsemaan silmämääräisesti. Pienissä kompressoreissa vedenerottimeen kuuluu kerääntyä vettä. Käytännön kokemus osoittaa, että erottimia tarkistetaan harvoin. Öljy- ja vedenerottimien tarkistus lisättiin kunnossapidon tarkastuskierrökselle. Sopiva tyhjennysväli on kolme kuukautta, jos kompressorin on vähällä käytöllä. Jos kompressorin käytetään paljon, se tulee tyhjentää kuukausittain. Isojen kompressorien vedenerottajan täyttyessä tulee ilmankuivaimen toiminta tarkistaa.

Kompressorin ei saa sijaita huoneessa, jossa on paljon pakkasta. Alhaisessa lämpötilassa saattaa piilevänä vikana esiintyä kompressorioiljyjen liiallista jäykkyyttä. Kompressorin ei välttämättä jaksa lähteä käyntiin jähmettyneillä öljyillä. Muun muassa AtlasCopco-kompressorivalmistaja myy erityistä öljyä nimenomaan kylmiin olosuhteisiin. Myös muilta öljy- ja kompressorivalmistajilta on saatavissa kompressoreille soveltuvia öljyjä. Jos kompressorin on jumissa se

polttaa sulakkeen ja saattaa aiheuttaa muita ongelmia, kun sähkötkatkeavat osasta pistorasioista.

Myös kompressorin säiliö täytyy tyhjentää samalla, kun vedenerottimet tyhjenetään. Säiliön pohjassa on tehjennysproppu, joka kierretään auki veden tyhjentämiseksi. Säiliö saattaa ruostua pahoin, jos vesi jää kompressorin sisään pitkäksi ajaksi. Äärimmäisissä tapauksissa pahoin korroosioaurioitunut paineilmasäiliö aiheuttaa turvallisuusriskin. Säiliö saattaa räjähtää, jos seinämäpaksuus on syöpynt liian ohueksi.

## 7.11 Voiteluaineet

Lämpölaitoksella tulee ottaa huomioon myös voiteluaineet. Jyväskylän Energian lämpökeskuksilla käytetään laakereiden yleisvoiteluaineena Teboil Multi Purpose Grease-vaseliinia. Voiteluaineet koostuvat noin 80 % perusöljystä ja ne sisältävät myös noin 20 % saenninta sekä vanhenemisen ja ruostumisenestoainetta. Voiteluaineet menettävät osan voitelevista ominaisuuksistaan pitkässä säilytyksessä. Yleiskäyttöön tarkoitettut litiumpohjaiset rasvat säilyvät noin kahdesta kolmeen vuotta. Myös tämän jälkeen rasva on sekoitettavissa uudelleen käyttökelpoiseksi mutta siitä ei saada uuden veroista. Puhekielellä voitelurasva-sanan sijaan käytetään yleensä vaseliinia. Vaseliinin rajallinen säilyvyys johtuu siitä, että vaseliinin öljy erottuu sideaineesta pitkässä säilytyksessä. Vaseliinin sideaineena käytetään litiumia. Litium on yleisrasvojen yleisin sideaine. Teboil tuoteneuvonnan suositus rasvan pisimmäksi säilytysajaksi on kolme vuotta. Vaseliini tulisi vaihtaa siis vähintään kolmen vuoden välein. Rasvojen säilytysolosuhteet ovat samat, kuin polttoaineilla. Säilytysolosuhteiksi suositellaan viileää valolta suojattua pöly- ja ilmatiivistä astiaa. Laakeripesä voidaan katsoa täyttävän nämä säilytysolosuhteet. (Teboil voiteluaineneuvonta. 2014.)

Vähäisistä käyttötunneista johtuen laakereiden rasvaus suoritetaan rasvan säilyvyyden perusteella. Voitelurasva ennättää pilaantua käytännössä aina ennen kuin lämpölaitoksen laitteille suositellun vaihtovälin käyttötunnit tulevat täyteen. Laitevalmistajan rasvausohjeita tulee tarkastella kriittisesti käyttöasteen muutoksen takia. Lämpökeskuksen rasvausohjeissa lyhyin rasvausväli on 2500 tuntia. Käyttöasteen ollessa 1,6 % vuodessa käyttötunteja kertyy noin 140 tuntia vuodessa. Käyttötuntien perusteella rasvaus tulisi suorittaa 18 vuoden välein. Voitelurasvat ennättävät luonnollisesti pilaantua tässä ajassa. Suositeltava rasvausväli säilyvyyden perusteella on kolme vuotta Teboil voiteluaineneuvonnan mukaan.

## 8 TARKASTUSVÄLIEN MÄÄRITTELY

Lämpökeskusten piilevän vikaantumisen löytämiseksi toimivin käytännön keino on säännöllinen tarkastus. Tarkastuksen yhteydessä havaitaan säilytyksen aikana muodostuneet viat, jotka voidaan korjata ennen tuotannon aloittamista. Tarkastuksista on hyvä pitää kirjaa, jonka perusteella toistuviin piileviin vikaantumisiin päästään käsiksi. Jos vika on säännöllisesti toistuva, voidaan laitteelle tai komponentille määrittää vikaantumisväliin perustuva vaihtoväli.

*Tarkastusväli lasketaan kaavalla:*

$$\text{tarkastusväli } T = 2 \times \text{epäkäytettävyys} \times \text{MTBF}$$

*Esimerkki (lasketaan tarkastusväli kuukausina)*

- tarkasteltavan kohteen MTBF on viisi vuotta → 60 kuukautta
- käytettävyysvaatimus on 99 % → epäkäytettävyys on 1 %
- $T = 2 \times 0,01 \times 60 = 1,2$  kuukautta

(Järviö, Lehtiö 2012, 102.)

Edellä näytettyä kaavaa käytetään, kun määritellään laitoksen tai laitteen tarkastusväliä. Kaavalla voidaan laskea tarvittaessa tarkastusväli säilytyksen ajalle ja käytön ajalle. Kaava on tarkoitettu laitoksille, joiden käyttöaste on korkea. Kaavan arvoja joudutaan soveltamaan, jotta saadaan todenmukaisia tuloksia matalan käyttöasteen lämpökeskukselle.

Epäkäytettävyydeksi sijoitetaan käytönaikainen epäkäytettävyyys. Käytettävyyden laskenta on kuvailtu kappaleessa 3.3 Käytönaikainen käytettävyyys. MTBF (Mean Time Between Failures) tarkoittaa aikaväliä edellisen vian alkamisesta seuraavan vian alkuun. Suomenkielinen termi on vikaantumisväli. Pienen käyttöasteen lämpökeskuksilla kaavaan sijoitetaan käytönaikainen MTBF, kun lasketaan käytönaikaista tarkastusväliä. Piilevän vikaantumisen aiheuttama epäkäytettävyyden takia käytönaikainen MTBF on pienellä käyttöasteella luonnollisesti lyhempi, kuin ison käyttöasteen laitteilla. Käytönaikaista MTBF:ää käytettäessä kaavan tulos on luotettavampi, kuin säilytyksenaikaista MTBF:ää käytettäessä. Käytönaikainen MTBF on tarkempi, sillä vika havaitaan heti. Säilytyksen aikana vika havaitaan ja kirjataan järjestelmään vasta tarkastuskierroksella.

Lämpökeskuksen käytettävyyysvaatimus on 99 % johtuen siitä, että varavoi-man käytettävyyys on oltava korkea. Epäkäytettävyyys on silloin 1 %. Käytönaikainen MTBF on kunnossapitohenkilökunnan arvion mukaan viisi kuukautta eli 20 viikkoa. Kaavaan sijoittamalla saadaan käytönaikainen tarkastusväli:

$$T = 2 \times 0,01 \times 20 = 0,4 \text{ viikkoa} \approx 3 \text{ päivää}$$

Tuloksen mukaan lämpökeskuksen laitteet tulisi tarkastaa käytön aikana noin kolmen päivän välein. Lämpökeskuksille on ennestään määrätty tarkastuskierros kahdesti viikossa. Laskennalla saatu käytönaikainen tarkastusväli sattuu hyvin lähelle tarkastuskierroksen aikaväliä. Kun kaavaa sovelletaan edellä kuvaillulla tavalla, saadaan tulos, joka sattuu hyvin lähelle todellista käytännössä

toteutettua tarkastusväliä. Kaavaan perustuen tarkastusväli voidaan todeta oikeaksi ja sitä voidaan myös jatkossa käyttää. Tarkastuskierroksen suorittaa käyttöhenkilökunta.

Lämpökeskuksella tulee suorittaa myös säännöllinen koeajo, vaikka lämpökeskusta ei käytettäisi. Keskus ajetaan täyteen tuotantoon ja pidetään siinä muutaman tunti, jotta varmistutaan lämpökeskuksen toiminnasta. Koeajon aikana tarkkaillaan keskuksen toimintaa. Kattilan tehonsäätö tulee myös tarkastaa. Suositeltava koeajoväli on vähintään yksi vuosi. Koeajo on hyvä ajoittaa lopputalvelle, jotta pystytään varautumaan isojen laitosten kesähuoltoihin eli revisioihin. Isojen laitosten kesärevisiot saattavat pitkittyä ja mennä päällekkäin, joten kesärevision aikana kaukolämpö saatetaan joutua tuottamaan lämpökeskuksilla. Lämpökeskusten tulee siksi olla kesällä kunnossa. Lopputalvesta suoritettavalla koeajolla varmistutaan siitä, että lämpökeskus on varmasti toimintakuntoinen ja jos vikoja havaitaan, ne ennätetään korjata ennen kesärevisioita. Jos lämpökeskuksella päätetään ajaa vuodessa kaksi koeajoa, ajoitetaan toinen koeajo alkusyksylle ennen lämmityskauden alkua. Syksyllä päälaitokset ovat yleensä jo revision jälkeen tuotannossa ja lämmityskauden huippu ei ole vielä tullut. Koeajot tulee ajoittaa siten, että mahdollisesti havaittuihin vikoihin ennätetään reagoimaan.

## **9 SOVELTUVUUS ERI LÄMPÖKESKUKSILLE**

Piilevän vikaantumisen tutkimisella pyritään tähtäämään perusteellisen kunnossapitosuunnitelman luomiseen. Kunnossapitosuunnitelma tulee tehdä jokaiselle laitokselle yksilökohtaisesti. Kunnossapitosuunnitelmaa voidaan kopioida vain jos laitokset ovat identtisiä. Jos viat ovat erilaisia, tulee jokaiselle lai-

tokselle tehdä yksilöity kunnossapitosuunnitelma. Piilevän vikaantumisen tutkiminen on oleellinen osa kunnossapitosuunnitelman luomista silloin, kun lämpökeskus seisoo pitkiä aikoja käyttämättömänä.

Lämpökeskusten piilevää vikaantumista tutkittaessa voitiin todeta, että esiintyvät viat eri laitoksilla ovat hyvin samankaltaisia. Pääosin viat ovat NASA:n kolmen pääkategorian mukaisia vikoja. Esimerkiksi pumppuviat ovat toistuvia ja tällöin tietoa samankaltaisesta piilevästä vikaantumisesta voidaan soveltaa yleisen kunnossapitosuunnitelman luomiseen. Vikamuodot öljykäyttöisillä lämpölaitoksilla ovat karkeasti samoja ja piilevä vikaantuminen voidaan tulkita samaksi kunnossapitosuunnitelmaa laadittaessa. Lämpölaitosten komponentit ovat hyvin samankaltaisia ja kaikilta laitoksilta löytyy toisiaan vastaavat laitteet. Myös käyttöolosuhteet, käytettävyys ja käyttöaste ovat samantyyliisiä.

## 10 VÄRÄHTELYMITTAUS

Värähtelymittauksella löydetään pyörivien kappaleiden piilevät viat. Värähtelymittaus on ennakoivaa kunnossapitoa. Mittauksella voidaan selvittää muun muassa erilaisia laakerivikoja, liiallisesta tai liian vähäisestä rasvaamisesta johtuvia vikoja ja kappaleen tasapainotukseen liittyviä ongelmia. Värähtelymittauksella pyritään löytämään epänormaali laitteen värähtely ennen laitteen vikaantumista. Värähtelymittaus on yleisesti käytetty keino kunnonvalvonnassa. Värähtelymittaus voidaan tulkita myös piilevän vikaantumisen etsintäkeinoksi, sillä värähtelylaitteistolla havaittavat viat ovat alkuvaiheessa sellaisia, ettei niitä voi ihmisaistein havaita. Vian havaitsemiseen tarvitaan erityislaitteisto. Lämpökeskukselta kerätään sopivan tilaisuuden tullen värähtelyarvoja, jotka toimivat vertailuarvoina myöhempiä mittauksia varten. Lämpökeskus tulisi ajaa täyteen tuotantoon ja pitää hetki tässä tilassa toiminnan varmistamiseksi ja värähtelyarvojen keräämiseksi. Luotettavia vertailuarvoja saadaan, kun laakereiden lämpötila on noussut normaaliin käyttölämpötilaan.

Värähtely ja värinä aiheuttavat laitteen ennenaikaista kulumista. Arvoja verrataan tuotannon aikana lähtöarvoihin ja mittauksen perusteella osataan varautua ja ennustaa pyörivien laitteiden vikaantumista.

## 11 KATTILAN NUOHOUS

Lämpökeskuksen kattilan huolto-ohjeissa neuvotaan nuohoamaan kattila huolellisesti jos savukaasujen lämpötila on noussut 30 °C nuohotun kattilan arvoista tai jos kattilan savukaasujen lämpötila ylittää 180 °C täydellä teholla ajettaessa. Kattilan kunnollisella nuohouksella parannetaan pääasiassa polton hyötysuhdetta. Myös kattilaputkien korroosion vähentäminen on nuohoamisen peruste. Vähäisellä käytöllä kattilaputkien korroosion estäminen vaatii paljon resursseja kunnossapidolta, jos se suhteutetaan kattilan käyttötunteihin. Kattila nuohotaan käsin, jos kattilassa ei ole omaa nuohousjärjestelmää. Nuohoamiseen käytetään konetta, jossa on pyörivä harjaosa pitkän taipuisan letkun päässä. Letkun toisessa päässä on sähkömoottori. Voima välitetään moottorilta pyörivälle harjalle joustavan vaijerin avulla. Vaijeri pyörii taipuisan letkun sisällä. Kattila tulee nuohota jokaisen pitemmän käyttökerran jälkeen, kun kattila jää seisokkiin. Tällä estetään tuliputkien korroosio. Jos kattila nuohotaan sen omalla vesinuohousjärjestelmällä, kattila käynnistetään nuohouksen jälkeen, jotta savukaasukanava ja muuraukset kuivuvat nuohousvedestä.

”Kattilaa ei saa koskaan jättää seisokkiin puhdistamattomana. Jo yhden viikon seisokin aikana puhdistamaton tai huonosti puhdistettu kattila syöpyy enemmän kuin kuukausien käytön aikana.” (Hoito- ja käyttöohjeet TF35 - 40MW kattila, Ahlström boilers) Liite 3

Lämpökeskuksen ollessa vähäisellä käytöllä, sillä ajetaan pääsääntöisesti ai-noastaan koeajot. Kattilan käyttö- ja huolto-ohjeissa sanotaan että kattilaputkien nuohoaminen tulee suorittaa jokaisen ajokerran jälkeen. Käytännössä kattila nuohotaan kuitenkin kerran vuodessa samassa yhteydessä, kuin muu kattilan huolto tehdään. Tällä estetään kattilaputkien liiallinen syöpyminen.



Osassa lämpökattiloista on vesinuohoimet, joilla nuohous tapahtuu. Kattilan yläosassa olevat nuohoussuuttimet ruiskuttavat vettä kattilaputkille ja konvektio-osaan. Vesi huuhtoo noen pois savukaasukanavista. Vesi kerääntyy kattilan alaosassa oleville nuohousyhteille josta vesi johdetaan ulos kattilasta nuohousvesisäiliöön. Nuohouksen jälkeen kattila ajetaan varovasti lämpimäksi, jotta muuraukset kuivuvat.

Vaikka kattila käsketään nuohoamaan joka käyttökerran jälkeen, voidaan tämä ohje sivuttaa, koska vesinuohouksen jälkeen kattilaa joudutaan joka tapauksessa lämmittämään niin paljon että se kuivuu kunnolla. Lämmityksen takia keittoputket nokeentuvat joka tapauksessa. Vähäisen käytön vuoksi lämpölaitoksen kattilalle riittää yksi nuohouskerta vuodessa. Jos kattila jostain syystä on pitkään ajossa, se nuohotaan normaalisti kattilavalmistajan ohjeiden mukaan jokaisen pitkän ajon jälkeen. Näin toimittaessa pystytään riittävän tehokkaasti estämään kattilaputkien korroosio ja nuohoamiseen ei käytetä liikaa kunnossapitoresursseja.

## 12 LUOTETTAVUUDEN ARVIOINTI

Opinnäytetyöraportti on sikäli erikoinen, että aiemmin ei ole tehty vastaavaa opinnäytetyötä, joka käsittelee lämpökeskuksen piilevää vikaantumista. Suoraa tietoa lämpökeskuksen piilevästä vikaantumisesta on hyvin vähän saatavilla ja aihe on siksi haasteellinen. Lämpökeskus rakentuu kuitenkin yleisistä teollisuuden komponenteista ja laiteista, joiden vikaantumismekanismit tunnetaan melko hyvin. Laitteisiin liittyvää teoriapohjaa voidaan soveltaa lämpökeskuksen piilevän vikaantumisen tutkimiseen. Lähteinä on käytetty yleisiä kun-

nossapidon käsitteitä ja uskomuksia, kuten Nowlanin ja Heapin vikaantumistutkimuksia. Spesifiksi tiedonlähteeksi on pyritty löytämään suomalaisia ja kansainvälisiä, riittävän luotettavia lähteitä. Esimerkiksi laakerien vikaantumismekanismeissa kyettiin hyödyntämään kansainvälistä informaatiota, jonka aiheita

on tutkittu paljon. Teoriaosuudessa viitataan kunnossapidon standardeihin, joita on hyvä pitää luotettavana ohjenuorana kunnossapitoa suunniteltaessa.

Iso osa opinnäytteen asiasisällöstä perustuu käytännön havaintoihin. Esimerkit piilevästä vikaantumisesta on kerätty fyysisesti lämpökeskukselta tarkastuskierrosten aikana. Maalaisjärkeä ja teoriapohjaa käyttämällä voidaan päätellä todennäköisyys vian uusiutumiselle lähitulevaisuudessa ja vikaantumismahdollisuudet muille laitteille. Opinnäytteessä on myös sovellettu ohjeita kattilalaitoksen käytöstä ja hoidosta. Hoito-ohjeet ovat alun perin toimineet kattilavalmistajan takuuehtoina ja suosituksina luotettavan käytön takaamiseksi.

## 13 JATKOTOIMENPITEET

Jatkotoimenpiteinä lämpökeskukselta aletaan keräämään kunnossapitodataa RCM-analyysiä varten. RCM-analyysillä saadaan tarkka huoltosuunnitelma lämpökeskukselle. Analyysin tekeminen on pitkälinen prosessi, jossa on oltava huolellinen. Laitteiden kriittisyysanalyysi ja vikaantumistodennäköisyys tulee tehdä huolella, jotta RCM-analyysistä tulee luotettava. Tämän opinnäyte-raportin perusteella kyetään arvioimaan niitä kohteita, jotka luultavimmin aiheuttavat piilevää vikaantumista lämpökeskuksella. Siihen asti, kunnes vikaataa on kerätty tarpeeksi, sovelletaan kuntoon perustuvaa kunnossapitoa ja jatketaan nykyisiä kunnossapitotoimia pohjautuen raporttiin. Raportin tietojen avulla nykyistä kunnossapitoa pystytään tehostamaan ja kohdentamaan paremmin ja tietoisuus vikaantumiskohteista lisääntyy.

## LÄHTEET

Designing for dormant reliability. n.d. NASA The National Aeronautics And Space Administration. Piilevän vikaantumisen kategorioita. Viitattu 5.3.2014.  
<https://oce.jpl.nasa.gov/practices/2207.pdf>

Errichello. R. 2002. Selecting and Applying Lubricants to Avoid Micropitting of Gear Teeth. Tietoa Micropitting-ilmiöstä. Viitattu 3.4.2014.  
<http://www.machinerylubrication.com/Read/417/micropitting-gear-teeth>

FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) - Vika- ja vaikutusanalyysi. n.d. Kuvaus vika- ja vaikutusanalyysistä Ramentor Oy sivustolla. Viitattu 5.4.2014.  
<http://www.ramentor.com/etusivu/teoria/fmea/>

Hoito- ja käyttöohjeet TF35 - 40MW kattila, Ahlström boilers. 1989. Viitattu 1.4.2014

JE-yhtiöt .nd. Yleistietoa Jyväskylän Energia-konsernista. Viitattu 31.3.2014  
<http://www.jyvaskylanenergia.fi/je-yhtiöt>

Juvinal, C., Marshek, K. 2006. Fundamentals of Machine component design. 4. p. John Wiley & Sons, INC.

Järviö, J., Lehtiö, T. 2012. Kunnossapito Tuotanto-omaisuuden hoitaminen. 5. p., uud. p. Helsinki: KP-media Oy

KOJA ilmentäjätekniikka keskipakaispuhaltimet käyttö- ja hoito-ohje. 1988. Tampere: KOJA Oy. Viitattu 2.4.2014.

KOYO Ball & Roller bearings: Failures, Causes and Countermeasures. Tietoa laakereiden vikaantumisesta. Viitattu 28.4.2014. <http://www.koyousa.com/brochures/pdfs/catb3001e.pdf>

Langnau. L. 2013. How bearings fail—a closer look at brinelling. Tietoa Brinelling- ilmiöstä. Viitattu 3.4.2014. <http://www.linearmotiontips.com/how-bearings-fail-a-closer-look-at-brinelling/>

Myymämme sähkön alkuperä n.d. Jyväskylän Energian oma tuotanto ja sähköostot. Viitattu 31.3.2014 <http://www.jyvaskylanenergia.fi/sahko/myymamme-sahkon-alkupera>

Neste Oil tuotoneuvonta. 2014. Puhelinhaastattelu 13.3.2014

NSK Rust and Corrosion. Tietoa laakereiden korroosiovioista. Viitattu 28.4.2014. [http://www.nskamericas.com/cps/rde/xchg/na\\_en/hs.xsl/rust-and-corrosion.html](http://www.nskamericas.com/cps/rde/xchg/na_en/hs.xsl/rust-and-corrosion.html)

Resources for Maintenance & Reliability Professionals. n.d. Lähdetietoa kunnossapidon ammattilaisille. Viitattu 5.4.2014. [http://www.reliabilityweb.com/art08/7\\_questions\\_rcm.htm](http://www.reliabilityweb.com/art08/7_questions_rcm.htm)

SFS-EN 13306. 2010. Kunnossapitosanasto. Helsinki: Suomen standardisointiliitto SFS. viitattu 5.4.2014. <http://www.sfs.fi/>

Teboil voiteluaineneuvonta. 2014. Voitelurasvojen säilyvyydestä. Puhelinhaastattelu 18.3.2014.

Tietoa Inspectasta. n.d. Viitattu 3.4.2014. <http://www.inspecta.com/fi/Tietoa-Inspectasta/>

Voiteluaineet: Perusteet. n.d. Perustietoa voiteluaineista Opetushallituksen sivuilta. Viitattu 18.3.2014. [http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/me-kaniikka\\_e01\\_voiteluaineet\\_perusteet.html](http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/me-kaniikka_e01_voiteluaineet_perusteet.html)

Öljytuotteiden varastointi. n.d. Neste Oil yleistietoa öljytuotteiden varastoinnista. Viitattu 13.3.2014. <http://www.neste.fi/artikkelit/keli.aspx?path=2589%2C2655%2C2710%2C2821%2C2944%2C3395%2C3397>

## LIITTEET

1. Putkimaa Oy, Oulu, Varikon lämpökeskus, Käyttö- ja hoito-ohjeet, raskasöljykäyttöinen kuumavesikattila.
2. KOJA ilmankäsittelytekniikka keskipakoispuhaltimet käyttö- ja hoito-ohje.
3. Hoito- ja käyttöohjeet TF35 - 40MW kattila, Ahlström boilers.

**Projekti: JYVÄSKYLÄN ENERDIATUOTANTO Oy****Varikon lämpökeskus****KÄYTTÖ- JA HOITO-OHJEET****RASKASÖLJYLÄMMITTEINEN KUUMAVESIKATTILA**

<b>Tyyppi</b>	<b>PM 40-16</b>
<b>Lämpöteho</b>	<b>40 MW</b>
<b>Kattilan käyttölämpötilat:</b>	
• paluuveden lämpötila	<b>80..128°C</b>
• menoveden lämpötila	<b>140..150°C</b>
<b>KI-verkon lämpötilat</b>	
• paluuveden lämpötila	<b>40...70°C</b>
• menoveden lämpötila	<b>80..118°C</b>
<b>Rakennepaine</b>	<b>16 bar(e)</b>
<b>Rakennelämpötila</b>	<b>204 °C</b>
<b>Kattilan rekisterinumero</b>	<b>K20138</b>

**SISÄLLYSLUETTELO**

<b>1. KATTILAN TOIMINNAN KUVAUS .....</b>	<b>3</b>
<b>2. KATTILAN RAKENNE .....</b>	<b>3</b>
<b>3. KATTILAN SUUNNITTELUARVOT .....</b>	<b>4</b>
<b>4. KATTILAN VARUSTELU .....</b>	<b>4</b>
<b>5. KATTILAN KARKEAVARUSTEET .....</b>	<b>4</b>
<b>6. KATTILAN KÄYTTÖÖNOTTO .....</b>	<b>5</b>
<b>7. KATTILAN KÄYTTÖ .....</b>	<b>5</b>
<b>8. KATTILAN SÄILYTYS .....</b>	<b>6</b>
<b>9. KATTILAN PUHDISTUS- JA HUOLTOTARKASTUKSET .....</b>	<b>6</b>
9.1 SISÄPUOLINEN PUHDISTUS .....	6
9.2 KATTILAN KAASUNPUOLEISTEN PINTOJEN PUHDISTUS.....	6
<b>10. MÄÄRÄAJAIN SUORITETTAVAT TARKASTUKSET .....</b>	<b>7</b>
10.1 PÄIVITTÄIN TAI VALVONTAKÄYNTIEN YHTEYDESSÄ.....	7
10.2 VIIKOITTAIN.....	7
10.3 KUUKAUSITTAIN .....	7
10.4 VUOSITTAIN.....	7
<b>11. YLEISOHJEITA KATTILALAITOKSEN HOIDOSSA.....</b>	<b>8</b>
<b>12. KIERTOVEDEN LAATU.....</b>	<b>8</b>
<b>13. VIITTEET .....</b>	<b>8</b>



## 1. Kattilan toiminnan kuvaus

Kattila on suunniteltu ja valmistettu painelaitedirektiivin 97/23/EY ja KTM:n päätöksen 938/1999 edellyttämällä tavalla. Asiapaperit ja dokumentaatio on esitetty kattilan painelaitedokumentaatioissa. Kattilan rekisterinumero on K20138.

Kattila on alhaalta tuettu vesi-/tuliputkirakenteinen kuumavesikattila, joka kytketään suoraan kaukolämpöverkkoon.

Kattila on varustettu tulipesän kattoon sijoitetulla yhdellä pyöriväkuppisella öljypolttimella, tyyppiä PETRO R40/PBR40 versio Low-NO<sub>x</sub>. Poltin on varustettu vesiemulsiolaitteilla kiintoainepäästön ja NO<sub>x</sub>-tason alentamiseksi.

Kattilaan tuleva vesi ( $\geq 80^{\circ}\text{C}$ ) ohjataan ensin tuliputkityyppiseen pystysuoraan konvektio-osaan, josta se lämmentyneenä viedään yhdyskanavan ja -putkien (2 kpl) kautta tulipesän alakokoojaan. Täältä vesi jakaantuu tulipesän seinille ja kootaan edelleen yläkokoojaan. Yläkokoojasta vesi ohjataan vakioämpötilassa (n.  $140..150^{\circ}\text{C}$ ) verkostoshunttaukseen ja sieltä halutussa lämpötilassa ( ulkolämpötilan mukaan n.  $75...115^{\circ}\text{C}$ ) kl-verkostoon.

Kattilan rakennearvot ovat 16 bar/ $204^{\circ}\text{C}$ . Kattilaa käytetään kuitenkin ensisijaisesti menoveden lämpötilalla  $120...150^{\circ}\text{C}$ . Paluuveden lämpötilan tulee aina olla  $\geq 70^{\circ}\text{C}$ .

Kattila on ns. ylipainekattila ts. savukaasujen virtaushäviöt voitetaan ilmapuhaltimen aikaansaaman tulipesän ylipaineen avulla. Kattilan jälkeen savukaasut ohjataan nykyisen savupiipun vapaana olevaan hormiin savupiippuun.

Öljypolttimen ja öljyn esilämmityskoneikon palosuojaus on toteutettu vesisammutusjärjestelmällä. Öljyn pumppauskoneikko on sijoitettu nykyisen öljysäiliön läheisyydessä olevaan pumppauskoppiin, joka on varustettu CO<sub>2</sub>-sammutusjärjestelmällä.

## 2. Kattilan rakenne

Kattila on täysin hitsattua rakennetta. Tulipesän seinät ovat membraanirakenteiset, ts. seinäputkien väliin on hitsattu lattateräs. Rakenne on näinollen täysin tiivis. Tulipesän poikkileikkaus on  $3429 \times 3429 \text{ mm}$  ja korkeus n.  $9000 \text{ mm}$ .

Seinäputkien koko on  $\varnothing 60.3 \times 4,5$  ja jako  $76,2 \text{ mm}$ . Yhdyskanavan ( tulipesäkonvektio-osa ) rakenne on vastaava.

Konvektio-osa on tuliputkityyppinen ts. savukaasut virtaavat putken sisällä ja kattilavesi on putken ulkopuolella. Konvektioputkien koko on  $\varnothing 51 \times 4$ , putkien määrä 913 kpl ja pituus  $6000 \text{ mm}$ . Putket ovat pystysuorassa omassa lieriörakenteisessa painerungossa, jonka alaosa on yhdistetty membraanirakenteisella yhdyskanavalla tulipesään. Tuliputkien yläosaan on sijoitettu jousityyppiset turbulenssielimet ( $\varnothing 36$ , pituus n.  $1850 \text{ mm}$ ) savukaasupuoleisen lämmönsiirron parantamiseksi ja siten savukaasun lämpötilan alentamiseksi.

Konvektioputkien nuohous suoritetaan vesinuohouksella. Tarvittava vesisuutin on asennettu savukaasukaapin kattoon konvektio-osan yläpuolella. Yhdyskanavan alaosassa on vesikokooja, josta vesi ohjataan putkiston kautta nuohousvesisäiliöön.

### 3. Kattilan suunnitteluarvot

Kattilan suunnittelupaine on 16 bar (e) ja kattilan suunnittelulämpötila 204 °C. Kattilan vesitilavuus on 28 m<sup>3</sup>.

#### Laskettuja käyttöarvoja:

Öljypoltto (vesiemulsio)	%	100	50	20
Teho	MW	40	20	8
Palamisilmamäärä	Nm <sup>3</sup> /s	13,1	6,5	2,7
Savukaasumäärä	Nm <sup>3</sup> /s	13,7	6,8	2,8
Savukaasun lämpötila	°C	170	150	140
O <sub>2</sub> -pitoisuus (kuiva sk.)	%	3,0	3,0	3,2
Menoveden lämpötila	°C	140	140	150
Paluuveden lämpötila	°C	70	100	128
Vesivirtaus kattilassa	kg/s	135,3	117,9	85,0
Hyötysuhde DIN 1942	%	92,6	93,1	92,7
Savukaasup. virtausvastus kattilan yli	Pa	2400	600	110
Vesipuolen virtausvastus kattilassa	kPa	50	30	20

O<sub>2</sub>-pitoisuudet ovat ohjeellisia samoin savukaasun lämpötila, joka riippuu kattilan puhtaudesta. Savukaasun lämpötila **ei öljypoltolla saa alittaa 140°C**\_korroosiovaaran vuoksi. Samasta syystä **öljypoltolla tulee paluuveden lämpötilan olla vähintään 70°C**.

### 4. Kattilan varustelu

Kattilan on varusteltu PI-kaavion PM 7941-1J mukaan siten, että TLJ-järjestelmään liittyvät mittaukset ovat kahdennettu ja laukaisu tapahtuu periaatteella yksi/kahdesta.

**Tulipesän oikea takanurkka on ns. räjähdysnurkka**, joka mahdollisen tulipesäräjähdysten sattuessa aukeaa ja estää suuremmat vahingot kattilan painerungolle. **Oleskelua tällä alueella tulee välttää**. Räjähdysnurkka on merkitty varoitusnauhalla ja kyltillä.

### 5. Kattilan karkeavarusteet

Kattila on varustettu seuraavilla karkeavarusteilla:

- miesluukkuja
  - tulipesässä 1 kpl
  - konventio-osassa 1 kpl
- näkölaseja 2 kpl

Käyttäjän tulee huolehtia siitä, että luukkujen **massaukset ja tiivisteet ovat ehjät** ja tarvittaessa seisokkien aikana ne tulee korjata.

On huolehdittava siitä, että näkölasit ovat puhtaat. **Silloin kun näkölaseista ei katsota, tulee suojalevyn olla laskettuna lasin eteen.**

## 6. Kattilan käyttöönotto

Ennen varsinaista käyttöönottoa on huolehdittava:

- kattila on varustettu PM 7941-1J edellyttämällä tavalla
- kattilan käyttöhenkilöstö on saanut riittävän koulutuksen
- kattilalle on suoritettu rakennetarkastus ja vesipainekoe
- kattilan käyttöön tarvittavat luvat ja asiakirjat ovat laitokselle hyväksytyt
- kattilalle on suoritettu puhtaaksikeitto ja/tai huuhtelu
- kattila voidaan liittää min. teholla verkkoon
- kattila on sekä savukaasu- että vesipuolelta tarkastettu, vieraat esineet poistettu ja luukut suljettu tiiviisti
- kiertovesijärjestelmä on toimintakunnossa
- polttoainejärjestelmä on toimintakunnossa
- kattilan TLJ-järjestelmä on testattu ja toimintakunnossa
- kattilan säätö- ja käytönvalvontalaitteet ovat viritetyt ja toimintakunnossa
- kattilalaitoksen putkisto, varolaitteet ja putkistovarusteet ovat testatut ja toimintakunnossa
- muista turvallisen käytön edellytyksistä on huolehdittu (KLTk "öljypolttio" ja "henkilöturvallisuus", kattilalaitoksen TLJ-järjestelmä täyttää suojeluohjeen G10 vaatimukset, muut turvallisuusohjeet ja -määräykset, ks. "vaaran arviointi").

Kattilaa ylösajettaessa materiaalin lämpötilan nousunopeus ei saa ylittää arvoa 3°C/min. **Mikäli kysymyksessä on kattilan ensikäynnistys, tulee massausten (polttimen sovitusringas, miesluukku) lämpötilan nousunopeuden olla enintään 50...70°C/h.**

**Kattila on ehdottomasti pysäytettävä pysäyttämällä poltin** mikäli käyttöturvallisuus vaarantuu esim. seuraavissa tapauksissa:

- kattila ei ole täysin vesikäytössä (kuivakeittovaara)
- havaittu putkivuoto kasvaa
- varoventtiilit eivät avaudu paineen ylittäessä suurimman sallitun käyttöpaineen
- korkein käyttölämpötila ylitetään

## 7. Kattilan käyttö

Kattilasta on pidettävä ns. kattilapäiväkirjaa, johon merkitään suoritettut kokeilut, esiintyneet häiriöt ja muut normaalista poikkeavat havainnot.

On huolehdittava ja testattava annettujen erikoisohjeiden mukaan kattilan turvallisuus- ja käytönvalvontalaitteiden toiminta (varoventtiilit, kuivakeittosuoja, säätö- ja ohjausjärjestelmä).

Mikäli savukaasujen lämpötila nousee suunnitteluarvoista n. 50°C, on kattila nuohotettava.

On huolehdittava, että öljypoltolla savukaasun lämpötila on **aina vähintään 140°C ja paluuveden lämpötila vähintään 70°C.**

## 8. Kattilan säilytys

**Mikäli kattila joudutaan säilömään pitemmäksi aikaa on se savukaasupuolelta puhdistettava hyvin, ettei säilönnän aikana savukaasupuoleista korroosiota esiintyisi.**

Kattilan vesipuoleisen korroosion ehkäisemiseksi kattila voidaan säilöä seuraavilla vaihtoehdoilla:

- A. Kattila pidetään lämpimänä ylipaineessa lämminvesikierron avulla.
- B. Kattila täytetään vedellä, johon on riittävästi annosteltu hydratsiinia mahdollisen vapaan hapen eliminoimiseksi.
- C. Kattila tyhjennetään kokonaan vedestä ja pidetään lämpimänä ja kuivana kuumailmakierron avulla.

## 9. Kattilan puhdistus- ja huoltotarkastukset

### 9.1 Sisäpuolinen puhdistus

Ennen puhdistus- tai tarkastusaukkojen avaamista on varmistauduttava ettei kattilassa ole yli- eikä alipainetta.

Kattilan vesitiloista on poistettava kattilakivi ja lieju. Kattilapintoja vahingoittavien terävien työkalujen käyttöä tulee välttää. Jos kattilakiveä esiintyy on kattilaveden käsittelyä parannettava. Kattilan kemiallinen puhdistus on suoritettava asiantuntijan valvonnassa.

### 9.2 Kattilan kaasunpuoleisten pintojen puhdistus

Ennen kattilan savukaasupuolelle menoa tulipesä ja savukanavat on tuuletettava hyvin sekä varmistuttava tarvittaessa mittauksin tai käyttämällä henkilökohtaisia suojaimia, ettei jouduta alttiiksi sallittuja enimmäispitoisuuksia suuremmille kaasumaisten tai kiinteiden haitallisten aineiden vaikutukselle.

Kaasunpuoleiset pinnat on puhdistettava. Vesi- tai höyrypesun jälkeen tulee pinnat kuivata syöpymisen estämiseksi.

Tulipesän ja savusolien tiiveys sekä polttolaitteiden ja muurausten kunto on tarkastettava. Tarvittavat korjaukset on suoritettava.

Käytönvalvojan tulee pitää kirjaa todetuista vioista ja puutteista.

Tarkastusten ja korjausten yhteydessä käytettävien sähkölaitteiden suhteen on noudatettava sähköturvallisuusmääräyksiä. Erityisesti on valvottava, että kattilan sisälle sijoitetuissa työkoneissa ja valaisimissa on suojajännite.

Tarkastus-, puhdistus- ja korjaustoimenpiteitä suoritettaessa tulee noudattaa työsuojelulainsäädännön määräyksiä.

## **10. Määräajoin suoritettavat tarkastukset**

### **10.1 Päivittäin tai valvontakäyntien yhteydessä**

- veden paine ja lämpötila
- savukaasun lämpötila ja O<sub>2</sub>-taso, tarvittaessa nuohotaan
- polttimen käyttöarvot annettujen ohjeiden mukaan
- silmämääräinen vuotojen tarkastus ja vuotojen välitön korjaus
- öljymäärän tarkastus

### **10.2 Viikoittain**

- polttimen toiminta annettujen ohjeiden mukaan
- puhdistetaan öljysuodin tarpeen mukaan
- hälytyslaitteiden toiminta

### **10.3 Kuukausittain**

- puhdistetaan poltin ohjeiden mukaan, samoin öljysuodattimet
- tarkistetaan kattilan säätö-, varmistus- ja varolaitteet
- korjataan vuotavat kierre- ja laippaliitännät sekä venttiilien tiivisteet
- tarkastetaan ja tarvittaessa uusitaan kattilan savukaasupuolen luukkujen tiivisteet

### **10.4 Vuosittain**

Edellyttää kattilan alasajoa

- puhdistetaan kattila sekä savukaasupuolelta että vesipuolelta perusteellisesti
- tarkastetaan kattilan yleiskunto; tulipesä, tuliputket, kokoojat ja putkisaumat
- tutkitaan esim. ultraäänellä kattilaputkien mahdolliset syöpymät ja tarvittaessa suoritetaan korjaus
- tarkistetaan ja korjataan massausten mahdolliset vauriot
- kattilan vesipuolen tarkastus ja puhdistus, vuotavien tiivisteiden vaihto
- polttimen vuosihuolto
- huolletaan ja kunnostetaan muut laitteet ohjeiden mukaan
- tarkastetaan ja täydennetään laitoksen varaosat
- huolletaan ja koestetaan kattilan säätö- ja varmistuslaitteet

**Suomen kansallisten määräysten mukaisesti (KTMP 953/99) kattilan tarkastukset tulee suorittaa niille määrättyinä ajankohtina.**

## 11. Yleisohjeita kattilalaitoksen hoidossa

**Kattilaa ei saa koskaan jättää seisokkiin puhdistamattomana.** Jo yhden viikon seisokin aikana puhdistamaton tai huonosti puhdistettu kattila syöpyy enemmän kuin kuukausien käytön aikana. Kattila on nuohottava viimeistään, kun todetaan savukaasun lämpötilan nousseen yli 50°C normaaleista käyttöarvoista. Kattilan tuloveden lämpötilan on aina oltava  $\geq 70^{\circ}\text{C}$ .

Hyvän hyötysuhteen ylläpitämiseksi on sekä polttimeen käyttöarvot että savukaasun lämpötila pidettävä suositelluissa arvoissa.

**Jos kattila pääsee kiehumaan kuiville**, ei vettä saa lisätä ennen kuin kattila on jäähtynyt. Kiehumisen syy on välittömästi selvitettävä ja poistettava. Tulipintojen vaurioituttua kuivakiehumisen johdosta, on **kattila-asiantuntijan ja hyväksytyn painelaitetarkastajan suoritettava tarkastus ennen kuin kattila voidaan ottaa käyttöön.**

**Varolaitteiden asetteluarvoja ei saa muuttaa.**

**Kattilahuone on pidettävä puhtaana ja kuivana.** Vuotavat johdot, venttiilit, tiivisteet jne. on korjattava heti tilaisuuden tullen.

## 12. Kiertoveden laatu

SFS-EN 12952-12, SFS 5549 tai SKY:n suositusten mukaan.

## 13. Viitteet

Vesiputkikattilastandardit  
KLT:n ohjeet:

PI-kaavio  
Vaaran arviointi:  
TLJ-järjestelmä

SFS-EN 12952 SFS-EN 12953

"Öljypoltto"

"Automaatio ja instrumentointi"

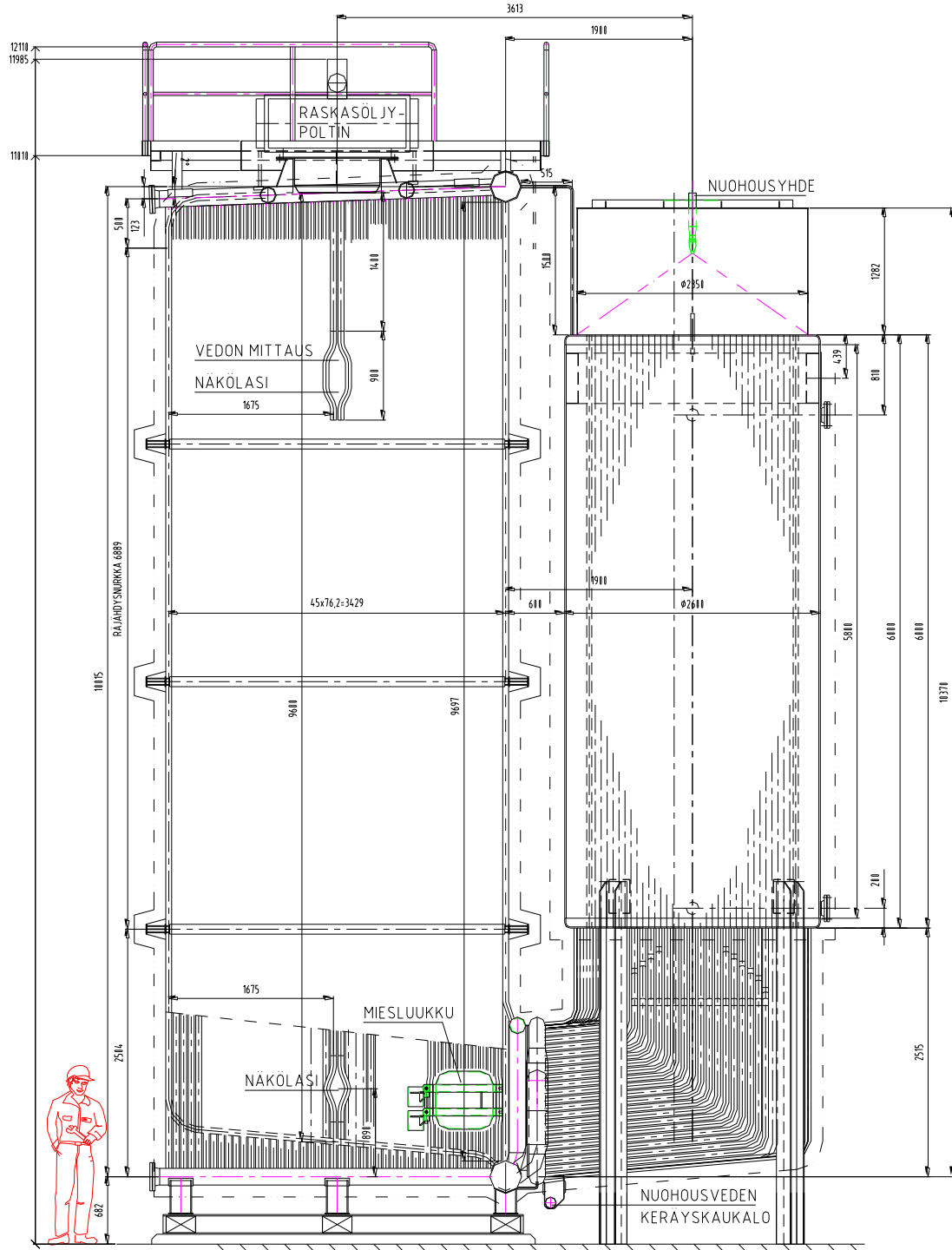
"Henkilöturvallisuus"

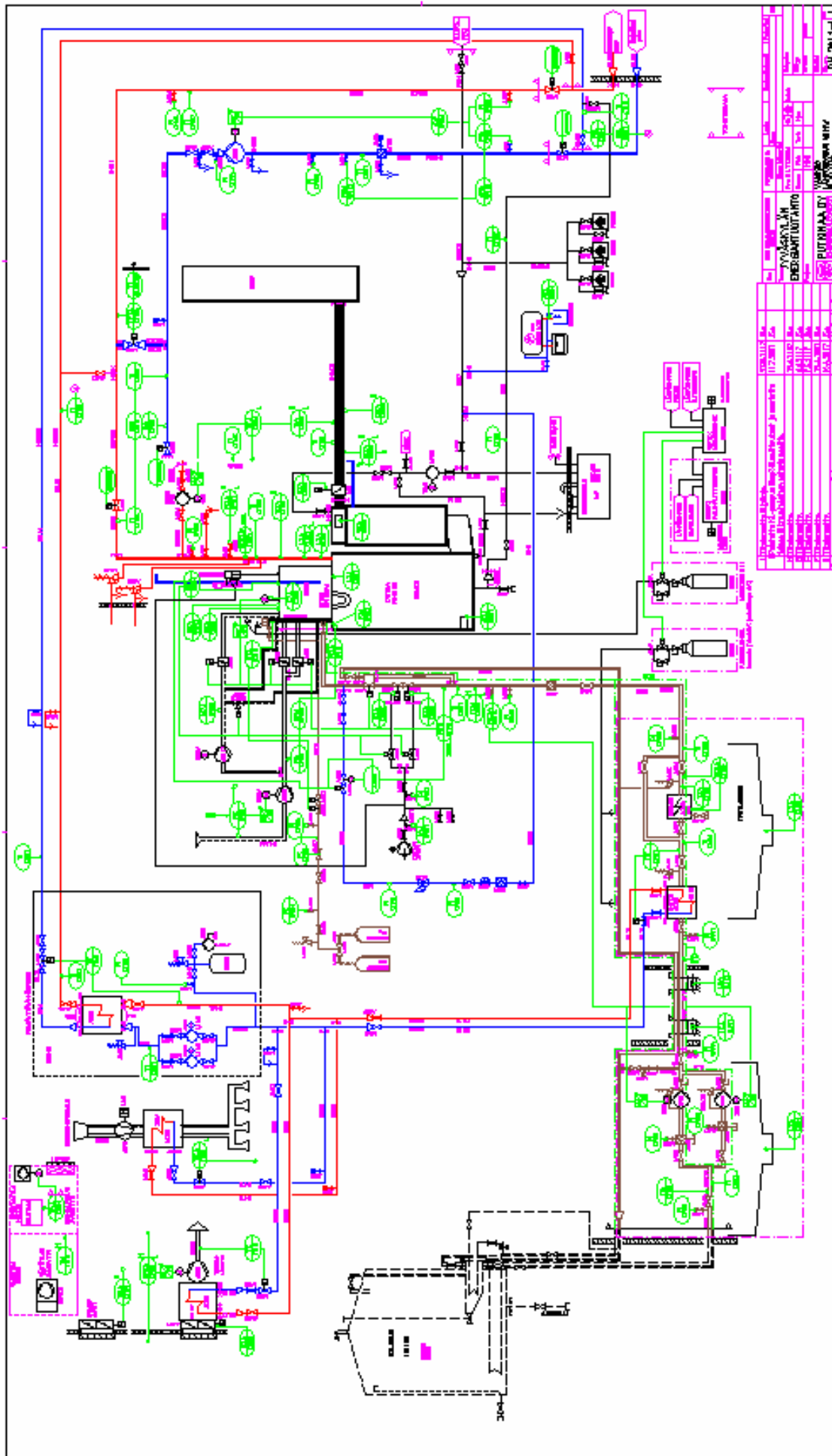
PM 7941-1J

Pöytäkirja ja sen vaatimukset

Toimitus Metso Automation Oy

G10 "Kattilalaitosten turvallisuuteen liittyvä automaatio"









ILMANKÄSITTELYTEKNIKKAA  
KOJA OY  
PL 35133101 TAMPERE  
PUH.931-652511

A/LKJ-HNB-00001

# KESKIPAKOISPUHALTIMET KÄYTTÖ- JA HOITO-OHJE

1 (15)  
01-88

## SISÄLLYSLUETTELO

1.0 Yleistä

2.0 Asennus

3.0 Käyttöönotto

4.0 Käynnistys

5.0 Valvonta käynnin aikana

6.0 Huolto

6.1 Siipipyörä

6.2 Laakerit

6.3 Käyttölaitteet

6.4 Siipisäädin

7.0 Varaosat

### 1.0 Yleistä

Keskipakoispuhaltimen oikealla asennuksella, käyttönotolla ja käynninaikaisella valvonnalla sekä säännöllisellä huollolla varmistetaan, että puhallin toimii tehokkaasti ja taloudellisesti ilman turhia käyntihäiriöitä ja keskeytyksiä.

### 2.0 Asennus

Keskipakoispuhallin asennetaan vaakasuoraan tärinänvaimentimien päälle. Imu- ja paineaukko liitetään kanavistoon joustavalla liittimellä. Ennen kanavien liittämistä puhaltimeen tarkistetaan, ettei puhaltimen sisälle jää irrallisia osia eikä roskia tai vettä.

Sähköjohdot on tuotava "joustavasti" moottorille ja on suositeltavaa varustaa puhallin huoltokytkimellä.

### 3.0 Käyttöönotto

- Tarkista puhaltimen ja moottorin kiinnitykset runkoon ja tärinäneristimien kiinnitys alustaan sekä imu- ja paineaukon liittokset kanavistoon.
- Tarkista hihnasuojuksen tai kytkinsuojuksen kiinnitykset ja vällys (väh. 10 mm) liikkuviin osiin nähden.
- Tarkista, että johtosiipisäädin liikkuu esteettömästi kiinni ja auki -asentoon, mutta ei niiden yli.
- Tarkista, että puhaltimen (moottorin) pyörimissuunta on kaavussa olevan nuolen suuntainen käynnistämällä puhallin hetkeksi.
- Tarkista puhaltimen laakerit kohtien 5.2 ja 5.3 mukaan ja jos on syytä epäillä, että laakerin sisälle on päässyt kondensoitumaan vettä esim. varastoinnin aikana, on laakeri avattava ja puhdistettava sekä voideltava uudelleen kohdan 6.23 mukaan.

### 4.0 Käynnistys

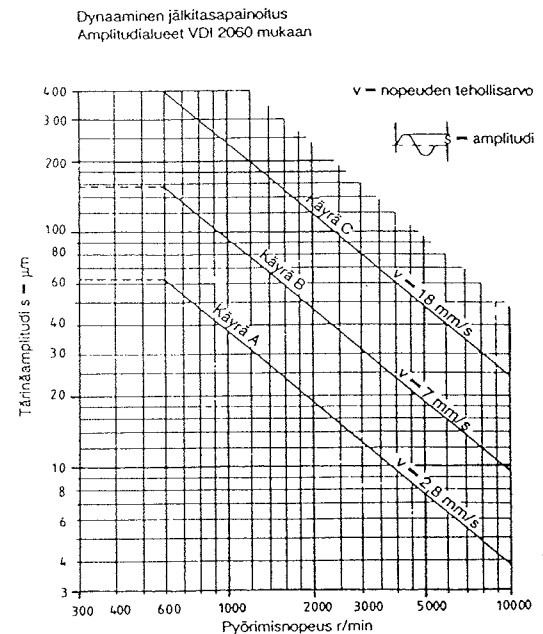
Käynnistettäessä kylmänä puhallin, joka kuljettaa kuumaa kaasua, on sen tehontarve huomattavasti käyttöolosuhteita suurempi. Jos tehontarve on määriteltä käyttööolosuhteiden mukaisesti, on puhallin käynnistettävä suljettua peltiä tai säätölaitetta vastaan. Peltiä tai säätölaitetta avataan vähitellen käyntiasentoon kaasun lämpötilan nousun mukaan.

## 5.0 Valvonta käynnin aikana

- Tarkasta seuraavat asiat sopivin aikavälein (esim. viikottain) puhaltimen käydessä.

### 5.1 Puhaltimen värinä

Koja Oy:n valmistamien puhaltimien siipipyörät tasapainotetaan dynaamisesti, käyrän A alapuoliselle alueelle (kuva). Valmiiksi kootun ja kohdan 2.0 mukaan asennetun puhaltimen värinäamplitudiarvon on jäätävä käyrän B alapuoliselle alueelle. Kun värinäamplitudiarvo ylittää käyrän B arvon, saa puhallinta käyttää väliaikaisesti, mutta siipipyörän puhdistus (kts.kohta 6.1) ja laakereiden tarkistus (kts.kohta 5.2 ja 5.3) tulisi suorittaa mahdollisimman pian. Elleivät nämä toimenpiteet auta, on puhallin tasapainoitettava. Käyrän C ylittävillä arvoilla ei puhallinta saa käyttää. Värinä mitataan laakereista tai laakereiden kohdalta rungosta.



### 5.2 Laakereiden lämpötila

Laakereiden käyntilämpötilaan vaikuttaa pyörimisnopeus ja ympäristöolosuhteet. Suurin sallittu käyntilämpötila riippuu laakeroinnin rakenteesta, käytetystä voiteluaineesta ja voiteluvälin pituudesta. Normaalisti rasvavoiteltujen laakereiden lämpötila ei saa ylittää 70°C. Tilapäisesti voidaan sallia +100°C, kun käytetään voiteluainetta jonka käyttölämpötila-alue on -30...+110°C. Esim. SKF Alfabalub LGMT 2. Lämpötilanousu voi johtua viallisesta laakerista, puutteellisesta voitelusta tai liian runsaasta voiteluainemäärästä (kts. kohta 6.23).

### 5.3 Laakereiden ääni

Laakereiden ääntä voidaan kuunnella sitä varten tehdyillä laitteilla tai esim. painamalla korva vasten ruuvitalttaa, jonka toinen pää on kiinni laakerissa. Viheltävä ääni ilmaisee puutteellisen voitelun. Epätasainen ja nakshteleva ääni kertoo laakerin olevan viallinen tai laakerissa on epäpuhtauksia. Mikäli laakeri on kunnossa, kuuluu heikko, huriseva ääni.

#### 5.4 Tärinänvaimentimet

Tarkistetaan, että vaimentimet ovat ehjät ja toimintakuntoiset.

#### 5.5 Kiilahihnavälitys

Tarkista hihnojen lukumäärä ja venymä. Venyneet ja kuluneet hihnat värisevät ja pitävät ääntä.

#### 5.6 Joustavat liittimet

Tarkista, että joustavat liittimet ovat ehjät.

#### 5.7 Siipisäädin

Tarkista siipisäätimen vivuston sekä toimilaitteen kunto ja kiinnitys. Myös vivuston välykset ja laakereiden voitelu on tarkistettava. Siipisäätimen toimivuus tutkitaan tarkkailemalla sen toimintaa käytön aikana.

### 6.0 Huolto

Huoltoajankohta ja huoltojakson pituus määräytyvät huolto- ja korjaustarpeiden mukaan.

HUOM! laakereiden voitelu on aina tehtävä kohdassa 6.2 annettujen ohjeiden mukaan.

Huolto- ja korjaustoimenpiteet voi laitoksen kunnossapitohenkilöstö suorittaa itse tai antaa ne Koja Ilmastointi Oy:n huolto-osaston tehtäviksi.

Ohjeessa mainittuja varaosia on saatavissa Koja Oy:ltä ja ao. osan valmistajilta. (Koja Oy pidättää oikeuden muutoksiin niistä ennalta ilmoittamatta.)

Ennen huolto- ja/tai korjaustoimenpiteitä pysäytä puhallin huoltokytimestä ja varmista esim. kirjallisella ilmoituksella, ettei sitä käynnistetä vahingossa huollon aikana.

#### 6.1 Siipipyörä

Jos puhallin toimii savukaasuissa tai pölypitoisessa ilmassa voi siipipyörään muodustunut kerrostuma tai poikkeuksellinen kuluminen aiheuttaa tasapainohäiriön. Siitä voi olla seurauksena laakerivaurio tai siipipyörän rikkoutuminen. Puhdistus suoritetaan teräsharjalla tai kaavinraudalla. Irronnut lika on poistettava puhallinkaavusta ennen puhaltimen käynnistystä. Puhdistusta varten voi puhallinkaavussa olla puhdistusluukku (lisävaruste). Kulunut siipipyörä on vaihdettava uuteen tai korjattava päällehitsaamalla. Korjaushitsauksen jälkeen on siipipyörä tasapainotettava uudelleen.

## 6.2 Laakerit

### 6.21 Yleistä

Laakereita on käsiteltävä varoen ja ne on suojeltava pölyltä ja kosteudelta. Laakerit on tämän takia säilytettävä alkuperäispakkauksessaan, joka avataan vasta asennettaessa. Uusissa laakereissa olevaa ruosteensuoja-ainetta ei tarvitse poistaa mikäli laakeri ei ole likaantunut. Laakereiden puhdistamiseen käytetään lakkabensiiniä tai vastaavaa. Pesun jälkeen on laakerit välittömästi öljyttävä. Akselitapit, laakeripesät jne. on ennen asennusta puhdistettava huolellisesti ja öljyttävä. Kartioholkkien sovituspintojen on kuitenkin oltava vain kevyesti voidellut. Sopivan puristustiukkuuden aikaansaaminen saattaa muutoin vaikeutua.

### 6.22 Käyttöönotto

Laakereiden voitelun ja asennuksen jälkeen suoritetaan koeajo, jonka aikana tarkkaillaan laakereiden lämpötilan nousua ja käyntiääntä (kts. kohdat 5.2 ja 5.3)

### 6.23 Laakereiden voitelu

Kuula- ja rullalaakerit voidellaan yleensä rasvalla. Öljyvoitelua käytetään erikoistapauksissa esim. silloin, kun pyörimisnopeus on rasvavoitelulle liian suuri tai laakerit tarvitsevat jäähdytystä.

Rasvalla voideltavat laakerit on yleensä varustettu voitelunipalla josta rasvaa painetaan sisään rasvapuristimella.

Rasvanipattomat laakerit voidellaan poistamalla laakeripesän yläpuolisko. Rasvaa työnnetään käsin laakerin rullien tai kuulien väliin mahdollisimman paljon, mutta laakeripesästä täytetään vain kolmasosa. Liian suuri rasvamäärä laakeripesässä voi aiheuttaa lämpötilan voimakkaan nousun, ja laakerin vaurioitumisen.

#### **HUOM!**

Puhdista laakeripesä päältä aina ennen voitelua, ettei likaa pääse rasvan mukana laakereihin.

Ensivoitelussa on laakereissa käytetty SKF:n Alfalub LGMT2 tai LGHT3 voitelurasvaa.

Kohdassa 6.24 ilmenee jälkivoiteluvälit sekä eri laakeripesissä tarvittava rasvamäärä ensivoitelussa ja jälkivoitelussa.

Voitelurasvoja: lämpötila-alue -30...+110

Esim. SKF Alfalub LGMT2, Esso Beason EP2,  
Gulf Guflex MP, Shell EP Grease 1128

lämpötila-alue -20...+150

Esim. SKF Alfalub LGHT3, Esso Unirex N3,

lämpötila-alue -50...+80

Esim. SKF Alfalub LGLT2

### 6.24 Voiteluvälit ja rasvamäärä

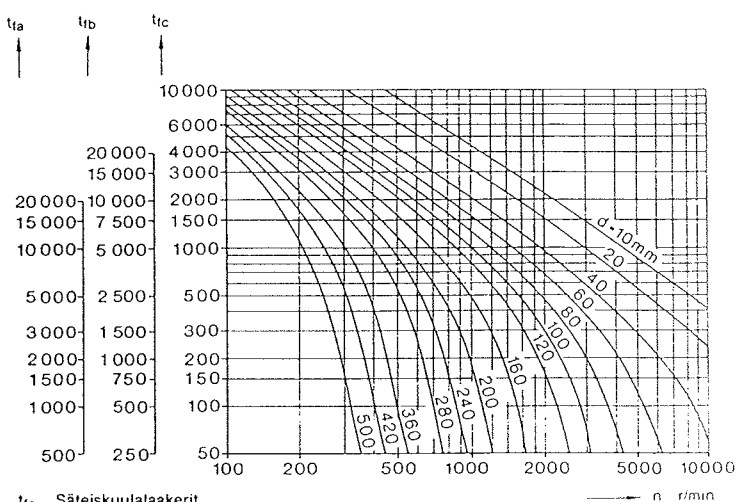
Voitelujaksot riippuvat mm. pyörimisnopeudesta (n), laakerin rakenteesta ja koosta (d=laakerin reiän halk.). Yleensä voiteluvälit voidaan valita viereisen käyrästön mukaan.

Esim.

- Pyörimisnop.  $n=1400$  1/min
- Reiän halkaisija  $d=60$  mm (kts. kohta 7.0)

Saadaan voiteluväliksi pallomaisella rullalaa-kerilla 1100 käyttötuntia.

Voiteluväli  
Käyttötuntia



t<sub>1a</sub> Säteiskuulalaakerit  
 t<sub>1b</sub> Lieriörullalaa-kerit  
 t<sub>1c</sub> Pallomaiset rullalaa-kerit, kartiorullalaa-kerit, painekuulalaakerit, pitimettömät lieriörullalaa-kerit (0,2 t<sub>1c</sub>), paine-lieriörullalaa-kerit (0,5 t<sub>1c</sub>)

Huom.

Käyrästö pätee kun laakerin ulkorenkaan lämpötila ei ole korkeampi kuin +70°C. Kun laakerin lämpötila on yli +70°C, on voiteluväli laakerin lämpötilan jokaisesta 15°C kohoamista kohti vähennettävä puoleen.

Rasvan korkeinta sallittua käyttölämpötilaa ei saa ylittää. Lämpötilan ollessa alle +70°C voidaan vastaavasti voiteluväliä pidentää. Rasva SKF LGMT2

Rasvamäärä			Pesänrunko	Rasvamäärä	
Pesänrunko	Rasvamäärä	jälkivoite-	Merkintä	ensivoite-	jälkivoite-
Merkintä	luun	luun		luun	luun
-	g	g	-	g	g
505	25	5	517	330	25
205			217		
506-605	40	5	518-615	430	40
206			218		
507-606	50	10	519-616	480	50
207					
508-607	60	10	520-617	630	55
208					
509	65	10	522-619	850	70
209					
510-608	75	10	524-620	1 000	80
210					
511-609	100	15	526	1 100	95
211					
512-610	150	15	528	1 400	110
212					
513-611	180	20	530	1 700	130
213					
515-612	230	20	532	2 000	150
215					
516-613	280	25			
216					

### 6.25 Laakerin vaihto

Koja Oy:n valmistamissa puhaltimissa laakerit ovat pallomaisia kuulatai rullalaakereita pystylaakeripesissä ja ne on kiinnitetty akselille kiristysholkin avulla.

Laakereita on kaksi, joista toinen ottaa vastaan aksiaalikuorman (laakeri jossa on ohjausrenkaat). Tämä on muistettava merkitä silloin, kun molemmat laakerit vaihdetaan yhtäaikaan.

Käytön puoleisen laakerin irroitus

- Puhdista laakeri ja akseli liasta sekä merkitse laakeripesän paikka
- Tue akseli paikoilleen esim. akselisuojukseen
- Irroita käytön suojus ja käyttö akselilta
- Irroita laakerin yläpuolisko
- Käännä lukkoaluslevyn kieli ulos mutterin urasta ja kierrä mutteria auki muutama kierros
- Irroita sisärengas lyömällä iskuholkkiin tai kaarituurnaa, joka painetaan holkin mutteria tai laakerin sisärengasta vasten.
- Irroita laakeripesä alustastaan ja vedä laakeri alapuoliskon kanssa pois akselilta

Siipipyörän puoleisen laakerin irroitus

- Irroita siipipyörä ja käyttö akselilta
- Irroita laakeri kuten edellä selostettu
- Irroita käytön puoleinen laakeri kiinnitysruuveistaan (merkitse laakeripesän paikka ennen irtaamista)
- Vedä akseli pois laakerista

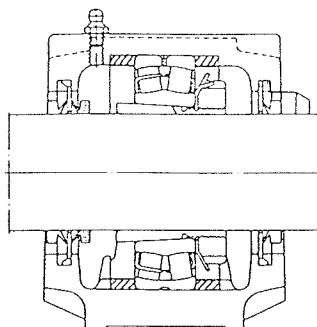
Asennus

- Puhdista akseli ja laakerin alusta
- Tarkista tiivisterenkaat ja vaihda ne uusiin, jos ne ovat vialliset
- Työnnä laakerin osat kuvan mukaisesti akselille
- Sovita lukkoaluslevy ja mutteri kartiolle ja kiristä mutteria hieman.
- Aseta laakerin osat paikoilleen laakeripesän alapuoliskoon ja jos olet irroittanut laakeripesän aseta se piirtämiesi merkkien mukaan ja kiinnitä se alustaansa.
- Ahda laakeri holkille mutteria kiristämällä kts. kohta 6.26 ja lukitse mutteri paikoilleen lukkoaluslevyn avulla.
- Täytä laakeripesä rasvalla kts. kohta 6.23
- Aseta laakeripesän yläpuolisko paikoilleen ja kiristä ruuvit. Ruuvien kiristysmomentin näet kohdan 6.26 taulukosta.

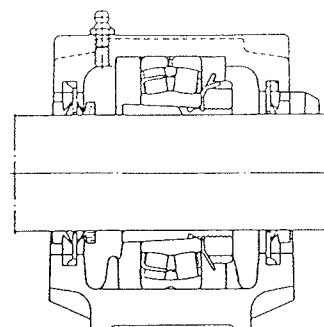
Huom!

Eri pesissä olevat ylä- ja alapuoliskot eivät ole keskenään vaihtokelpoisia.

Asenna irroittamasi osat paikoilleen ja koekäytä puhallin sekä tarkista laakereiden lämpötila ja ääni kohtien 5.2 ja 5.3 mukaan.



Ohjaava laakeri



Vapaa laakeri

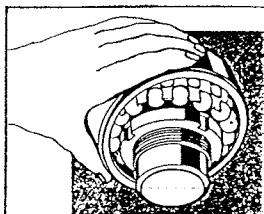
### 6.26 Laakerin säteisvällys ja aksiaalisiirtymä

Laakerin reiän halkaisija d yli ml.		Säteisvällys ennen asennusta						Säteisvällyksen pienentymä		Aksiaalisiirtymä <sup>1)</sup> Kartiokkuus 1:12		Asennuksen jälkeinen pienin sallittava loppuvällys <sup>2)</sup> laakereille, joiden välykset ovat		
		Normaali		C3		C4				min max		Normaali C3 C4		
mm		mm						mm		mm		mm		
30	40	0,035	0,050	0,050	0,065	0,065	0,085	0,020	0,025	0,35	0,4	0,015	0,025	0,040
40	50	0,045	0,060	0,060	0,080	0,080	0,100	0,025	0,030	0,4	0,45	0,020	0,030	0,050
50	65	0,055	0,075	0,075	0,095	0,095	0,120	0,030	0,040	0,45	0,6	0,025	0,035	0,055
65	80	0,070	0,095	0,095	0,120	0,120	0,150	0,040	0,050	0,6	0,75	0,025	0,040	0,070
80	100	0,080	0,110	0,110	0,140	0,140	0,180	0,045	0,060	0,7	0,9	0,035	0,050	0,080
100	120	0,100	0,135	0,135	0,170	0,170	0,220	0,050	0,070	0,75	1,1	0,050	0,065	0,100
120	140	0,120	0,160	0,160	0,200	0,200	0,260	0,065	0,090	1,1	1,4	0,055	0,080	0,110
140	160	0,130	0,180	0,180	0,230	0,230	0,300	0,075	0,100	1,2	1,6	0,055	0,090	0,130
160	180	0,140	0,200	0,200	0,260	0,260	0,340	0,080	0,110	1,3	1,7	0,060	0,100	0,150

<sup>1)</sup> Pätee vain umpiteräsakseleille

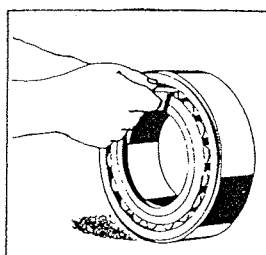
<sup>2)</sup> Ennen kaikkea on mitattava säteisvällyksen pienentymä tai aksiaalisiirtymä sekä pysyttävä taulukon minimi- ja maksimiarvojen sisällä. Asennuksen jälkeinen välys pitää tarkastaa, jos laakerien alkuperäisvälys on toleranssialueen puolivalin alapuolella ja jos sisä- ja ulkorengaan välillä voi käytössä olla suuria lämpötilaeroja; asennuksen jälkeinen välys ei tällöin saa alittaa tässä esitettyjä arvoja.

#### Pallomaiset kuulalaakerit

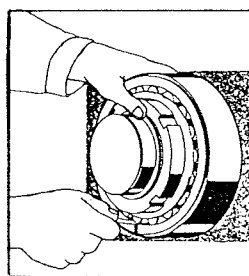


Kun asennetaan pallomaisia kuulalaakereita, joilla on normaali säteisvälys, tarkastetaan välyksen pienentymä kääntämällä ja kallistelemalla ahtamisen aikana ulkorengasta. Kun laakeri on oikein asennettu, ulkorengasta on voitava helposti pyörittää, mutta tiettyä vastustusta on tunnettava, kun sitä kallistetaan.

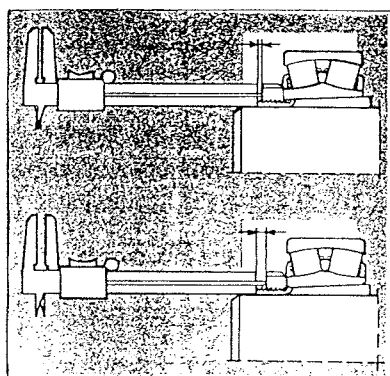
#### Pallomaiset rullalaakerit



Välyksen mittaus ennen asennusta



ja asennuksen jälkeen



Aksiaalisiirtymän mittaaminen

Pesänrunko Merkintä	Suosittelut pesänpuoliskojen kiinnitysruuvien kiristysmomentti	Pesänrunko Merkintä	Suosittelut pesänpuoliskojen kiinnitysruuvien kiristysmomentti
	Nm		Nm
505 205 506-605 206 507-606 207 508-607 208 509 209 510-608 210	50	515-612 215 516-613 216 517 217	80
		518-615 218 519-616	
	80	520-617 522-619 524-620	200
511-609 211 512-610 212 513-611 213		526 528 530 532	
			350



### 6.3 Käyttölaitteet

#### 6.31 Sähkömoottorit

Käyttöönotto ja huolto moottorin valmistajan laatimien ohjeiden mukaan.

#### 6.32 Kiilahihnakäyttö

Keskipakoispuhaltimeet, joissa on kiilahihnavälitys on varustettu hihnasuojuksella, joka on irrotettava ennen kiilahihnavälityksen huolto- ja/tai korjaustoimenpiteitä ja asennettava paikoilleen ennen puhaltimen käynnistystä.

##### 6.321 Käyttöönotto

Kiilahihnakäyttö on tehtaalla valmistajan toimesta linjattu ja kiristetty toimintakuntoon. Hihnat tulee kiristää käyttöönoton yhteydessä noin 30 min käytön jälkeen uudelleen kohdan 6.327 taulukon yläarvoihin, jonka jälkeen hihnojen kiristys on normaalioloissa tarpeetonta.

##### 6.322 Huolto

-Tarkista kiilahihnapyörien ja kiilahihnojen kuluneisuus (kts.koh-  
ta 6.323). Kiilahihnapyöriä varten on olemassa uratulkkeja, joilla  
voidaan helposti ja varmasti todeta urien kuluneisuus. Tulkkeja  
saa kiilahihnapyörien valmistajilta.

-Vaihda kuluneet hihnapyörät ja kiilahihnat. Useampihihnaeisissa  
käyttöissä on kaikki hihnat uusittava samalla kertaa.

-Kiristä kiilahihnapyörien kartioholkkikiinnityksen ruuvit.

-Tarkista hihnojen linjaus ja kireys kohtien 6.326 ja 6.327 mukaan.

-Puhdista hihnapyörät ja hihnat tarpeen mukaan.

##### 6.323 Toimintahäiriöt ja niiden mahdolliset syyt

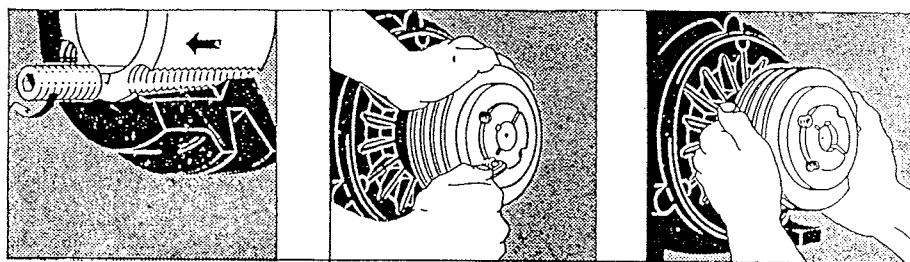
###### Vaurio tai vika

1. Hihna on katkenut
2. Hihnassa on pehmeä venyvä kohta
3. Hihna tai hihnat kääntyvät urissa
4. Käyttö jyskyttää tai tärisee
5. Sivupinnat kuluvat nopeasti
6. Sivupinnoissa naarmuja tai vähäisiä repeytymiä
7. Sivupinnat pehmeät, uriin tarttunut palanutta kumia
8. Sivupinnat repeilleet, halkeamia
9. Ulkopinnassa naarmuja ja repeytymiä
10. Hihnan kaikki pinnat tahmeat, pähkuraista, elotonta kumia hihnassa ja pyörissä
11. Hihnan pinta kova, murtumia pohjakumin puolella

Toimintahäiriö -korjaus	Vaurio, vika					
Hihnat löysällä - Kiristä uudet hihnat	1	3	4	5	7	
Hihnat urissa eri syvyyksissä - Korjaa urat	1	3	4	5	7	
Hihna väännetty uraan väkisin - Asenna uudet hihnat käsin	1	2	-	-	-	
Pyöräuriin päässyt kovia kappaleita - Tarkista suojukset	1	2	-	-	-	
Löysyyttä ei painettu samalle puolelle käyttöä - Noudata asennusohjeita	1	2	3	4	7	
Hihnat eivät ole samaa pituutta - Tarkista lajitte-lunumerot	1	3	4	5	-	
Pyöräurissa murtumia tai valurakkuloita - Vaihda pyörät	6	-	-	-	-	
Hihna koskettaa kiinteltä rakenteita - Tarkista tila, kiristä hihnat	3	4	9	-	-	
Käyttöön pääsee kuluttavaa pölyä - Tarkista suojukset, kiristä hihnat	5	-	-	-	-	
Käyttö alimitoitettu - Tarkista, kiristä hihnat	1	5	6	7	-	
Liian pieni pyörä - Vaihda pyörät	5	7	8	11	-	
Lyhyt hihna, suuri nopeus - Tutki profiilivaihtoehdot	7	8	-	-	-	
Käyttö seisonut kiristetyin hihnoin - Löysää hihnat jos käyttö joutuu seisomaan yli 2 viikkoa	4	-	-	-	-	
Hihnoille päässyt voitelu- tai polttoaineita, käytetty hihnava-hoja - Puhdista käyttö, tuki vuodot	7	10	-	-	-	
Auringonpaiste, sähköhihtsaus, lämmin ilma- virta - Tarkista suojaukset	11	-	-	-	-	
Kuuma käyttöpaikka - Tutki jäähdytysmahdollisuudet	7	10	11	-	-	
Ulkopuolinen kiristyspyörä - Urapyörä sisäpuolelle	11	-	-	-	-	

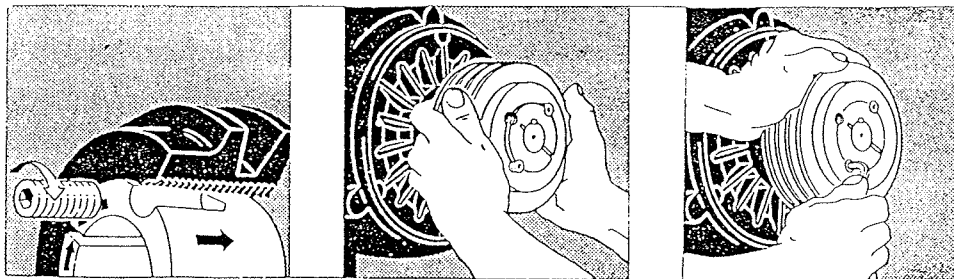
#### 6.324 Irroitus

- Löysää hihnat siirtämällä moottoria puhallinta kohti avaamalla moottorin kiinnitysruuvit ja kiertämällä kiristysruuveja.
- Poista hihnat pyöriltä.
- Puhdista hihnapyörät.
- Irroita ruuvit ja kierrä yksi tai kaksi ruuveista, holkkityypistä riippuen, ulosvetoreikiin. Ulosvetoreiät on näytetty alla olevassa kuvassa ja niissä kierre on kartioholkissa.
- Kiristä ruuveja tasaisesti, kunnes holkki irtoaa navasta.
- Poista käyttö akselilta.



#### 6.325 Asennus

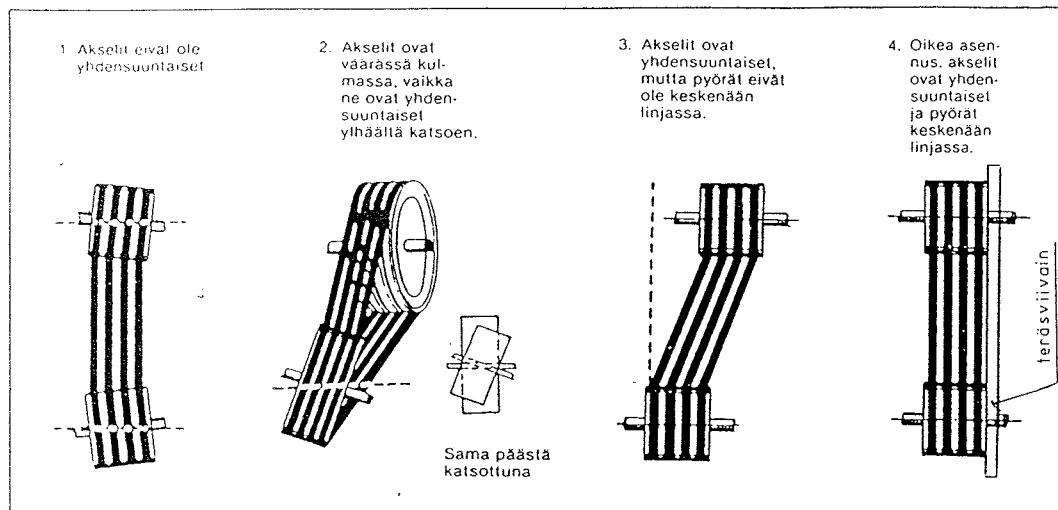
- Poista suojarasva holkista ja pyörän navasta. Aseta holkki pyörän napaan ja kohdista reiät.
- Rasvaa kiinnitysruuvit ja kierrä ne kevyesti paikoilleen. Kiinnitysruuvien paikat on näytetty alla olevassa kuvassa ja niissä kierre on pyörän navassa.
- Puhdista akseli, aseta pyörä ja holkki sille. Asettaessasi pyörää muista, että ensin kiinnittyy holkki akselille ja pyörä siirtyy tämän jälkeen vielä hiukan holkkiin nähden.
- Kiristä ruuvit avaamalla tiukalle.
- Napauta holkkia tuurnalla kevyesti ja kiristä ruuvit uudelleen. Toista tämä pari kertaa, jolloin varmistat, että holkki on todella tiukasti paikallaan.
- Tarkista ajoittain ruuvien kireys.
- Täytä ulosvetoreiät esim. rasvalla likaantumisen estämiseksi.
- Puhdista pyörät rasvasta ja ölystä ja tarkista, ettei hihnaurissa ole ruostetta.
- Säädä akseliväli siten, että hihnat saadaan pyörän uriin pakottamatta.
- Varmista, että pyörät ovat linjassa ja akselit yhden-suuntaiset (kohta 6.326).
- Aseta hihnat pyörän uriin ja kiristä käyttö (kohta 6.327)



### 6.326 Linjaus

Suorita linjaus asettamalla teräsviivain hihnapyörien kylkiä vasten ja siirtämällä moottoria tarpeen mukaan.

Alla olevassa kuvassa on esitetty käytön virheelliset asennot sekä oikea asento.



Katkoviivat ilmaisevat oikean asennon virheelliseen nähden

### 6.327 Kiristys

Nykykalusten hihnojen, ennenkaikkea kapeakillahihnojen suurta tehonsiirtokykyä ei voida hyödyntää ilman oikeaa kiristystä.

Oikea kiristys tarkistetaan seuraavasti:

1. Mittaa hihnajänteen pituus (= hihnan vapaa pituus).
2. Mittaa kohtisuora taivutusvoima, joka saa aikaan 16 mm:n hihna-  
taipuman hihnajänteen metriä kohti.
3. Vertaa mittausvoimaa viereiseen taulukkoon.

Jos mitattu taivutusvoima osuu annettujen arvojen sisälle, on kireys tyydyttävä. Mikäli voima on pienempi kuin alempi arvo, ovat hihnat liian löysällä. Uusi käyttö tulisi kiristää mittausvoiman ylemmään arvoon, koska hihnat venyvät sisäänajon aikana. Hihnat tulisi kiristää myöhemmin säännöllisin väliajoin.

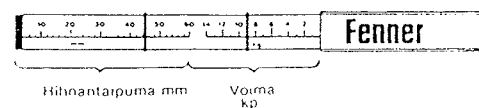
Hihnan kireyttä säädetään siirtämällä moottoria. Tällöin löysätään ensin moottorin neljä kiinnitysruuvia ja sen jälkeen kireys säädetään kiristysruuveilla. Tällöin on huolehdittava, että hihnapyörät ovat linjassa ja akselit yhdensuuntaiset. Kun hihnat ovat oikeassa kireydessään, kiristetään moottorin kiinnitysruuvit.

12500 mm ja sitä lyhyemmät hihnat voidaan kiristää uudelleen 30 min käytön jälkeen ohjeisen taulukon mukaisiin yläarvoihin, jonka jälkeen hihnojen uudelleenkiristys normaalioloissa on tarpeetonta.

#### KIRISTYSVOIMAT

Hihna- profiili	Voima joka tarvitaan taivuttamaan hihnaa 16 mm/hihnajänteen metri					
	Pienemmän pyörän halkaisija [mm]		Newtonia [N]		Kilo- pondia [kp]	
SPZ	67	95	10	15	1.0	1.5
	100	140	15	20	1.5	2.0
SPA	100	132	20	27	2.0	2.7
	140	200	28	35	2.8	3.5
SPB	160	224	35	50	3.5	5.1
	236	315	50	65	5.1	6.6
SPC	224	355	60	90	6.1	9.2
	375	560	90	120	9.2	12.2

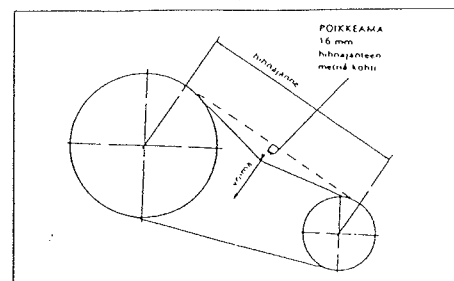
#### HIHNANKIREYSMITTARI



### 6.328 Kiilahihnojen varastointi

Hihnat tulee varastoida kuivassa tilassa. Kosketus kuumiin pintoihin ja suora auringonvalo on estettävä.

Mikäli mahdollista, ripusta hihnat löysästi yksinkerroin (tai kolminkerroin). Hihnoja ei saa kiertää rullalle.



### 6.33 Akselikytkinkäyttö

Koja Oy:n valmistamissa keskipakoispuhaltimissa on normaalirakenteessa käytetty akselikytkimenä joustavaa rengaskytkintä. Kytkin on suojattu suojuksella. Ennen kytkimen huolto- ja korjaustoimenpiteitä suojus on irroitettava ja se on asennettava paikoilleen ennen puhaltimen käynnistystä.

#### 6.331 Käyttöönotto

Kytkinkäyttö on tehtaalla valmistajan toimesta asennettu ja linjattu toimintakuntoon, mikäli puhallin toimitetaan sähkömoottori ja kytkin asennettuna. Jos puhallin toimitetaan ilman sähkömoottoria ja kytkin irrallaan, kts. kohta 6.334.

#### 6.332 Huolto

- Tarkista kiinnitykset ja kiristä ruuvit tarpeen vaatiessa.
- Tarkista kytkinrenkaan kunto (murtumat, halkeamat, mureneminen) ja vaihda rengas uuteen tarvittaessa.

#### 6.333 Kytkinrenkaan vaihto

- Avaa puristusrenkaiden ruuvit niin, että rengas voidaan vetää kytkimen päältä pois.
- Avaa uusi rengas ja aseta se kytkinlaippojen reunojen yli. Tarkista, että renkaan reunat ovat hyvin laipan ympärillä ohjauksessaan. Jotta varmistettaisiin, että rengas on oikealla kohdalla, voi renkaan ulkokehää kopauttaa kevyesti vasaralla. Renkaan päiden väliin tulee jäädä taulukon mukainen aukko.
- Kiristä puristusrenkaan ruuveja vuorotellen (puoli kierrosta kerrallaan), kunnes vaadittava kiristysmomentti on saavutettu (kts. talukko 1).

#### 6.334 Rengaskytkimen irroitus ja asennus

##### Irroitus

- Avaa puristusrenkaiden ruuvit niin, että rengas voidaan vetää kytkimen päältä pois.
- Avaa moottorin kiinnitysruuvit ja vedä moottoria hieman taaksepäin.
- Irroita kartioholkkien ruuvit ja kierrä yksi tai kaksi ruuveista holkkityypistä riippuen ulosveto-reikiin (niissä on kierre kartioholkissa). Kiristä ruuveja tasaisesti, kunnes holkki irtoaa navasta.
- Poista käyttö akselilta.

### Asennus

- Puhdista suojarasva osista, erityisesti liitosten vastepinnoista.
- Aseta kartioholkki laipan napaan ja kohdista reiät. Rasvaa kiinnitysruuvit ja kierrä ne kevyesti paikoilleen, kiinnitysruuvien rei'issä on kierrelaipan navassa.
- Työnnä laipat puhaltimen ja moottorin akseleille. Aseta moottori paikoilleen. Aseta laipat niin, että mitta M (laippojen etäisyys toisistaan) on taulukon 1 mukainen. Huomioi, että akselinpää voi tulla laipan reunaa ulommaksi, jos on tarpeen. Jätä tässä tapauksessa tarpeeksi tilaa akselinpäiden väliin aksiaalisiirtymää varten. Siirrä moottoria hieman taaksepäin ja kiristä holkkien ruuvit (kts. taulukko 2). Muista, että ensin kiinnittyy holkki akselille ja laippa siirtyy tämän jälkeen vielä hiukan holkkiin nähden.
- Täytä holkkien ulosvetoreiät esim. rasvalla likaantumisen estämiseksi.
- Siirrä moottori paikoilleen.
- Suorita linjaus (kts. taulukko 1 ja kuva 1).
- Kiinnitä moottori.
- Avaa rengas ja aseta se kytkinlaippojen reunojen yli. Tarkista, että renkaan reunat ovat hyvin laipan ympärillä ohjauksessaan. Jotta varmistettaisiin, että rengas on oikealla kohdalla, voi renkaan ulkokehää kopauttaa kevyesti vasaralla. Renkaan päiden väliin tulee jäädä taulukon 3 mukainen aukko.
- Kiristä puristusrenkaan ruuveja vuorotellen (puoli kierrosta kerrallaan), kunnes vaadittava kiristysmomentti on saavutettu (kts. taulukko 1).

TAULUKKO 1

Kytinkoko	F40	F50	F60	F70	F80	F90	F100	F110	F120	F140	F160	F180	F200	F220	F250
M mm	22	25	33	24	26	29	29	25	29	33	30	46	48	55	59
Maks. aksiaalsiirtymä $\pm$	1,3	1,7	2,0	2,3	2,6	3,0	3,3	3,7	4,0	4,6	5,3	6,0	6,6	7,3	8,2
Maks. säteittäinen poikkeama	0,5							1,0							
Ruuvien kiristysmomentti (Nm)	15	15	15	24	24	40	40	40	50	50	80	105	120	165	165

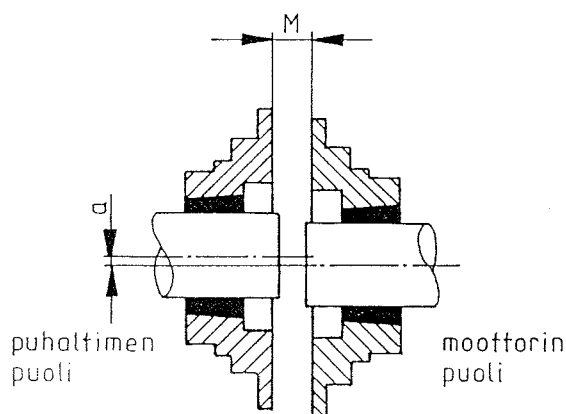
Maks. kulmapoikkeama, kaikki koot 4°.

TAULUKKO 2

Holkki		1008 1008	1310 1315	1210 1215	1610 1615	2012 2017	2517 2525	3020 3030	3525 3535	4040 4030	4545 4535	5050 5040
Ruuvien kiristysmomentti (Nm)		5,6	20	20	20	31	48	90	113	170	192	271
Ruuvit	Kpl	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3
	Koko (BSW)	1/4"	3/8"	3/8"	3/8"	7/16"	1/2"	5/8"	1/2"	5/8"	3/4"	7/8"

TAULUKKO 3

Kytkin-koko	F 40— F 60	F 70— F 120	F 140— F 160	F 180— F 250
Renkaan päiden väliin jäävä aukko mm	2	3	5	6



Kuva 1

M = laippojen välinen etäisyys  
 a = säteittäinen poikkeama

## 6.4 Siipisäädin

### 6.4.1 Huolto

**Puhdistus** Kaavi tai harjaa pois noki ja muu siipiin ja vaipan sisäpintaan tarttunut karsta. Tarkista, että siivet asettuvat suljettaessa tiiviisti toisiaan vasten. Puhdistusvälit vaihtelevat ilman tai savukaasun puhtausasteen mukaan ja on siksi määritettävä kokemusperäisesti jokaiselle laitteelle erikseen.

**Voitelu** Säättömekanismin liikkuvat osat on voideltava. Voiteluvälit ovat riippuvaiset käyttöoloista ja ne määritetään kokemuksen mukaan. Kaasun ja lämpötilojen ollessa korkeat ei säättömekanismeja yleensä voidella.

## 7.0 Varaosat

- |                    |                         |
|--------------------|-------------------------|
| - Laakerit         | - Akseli                |
| - Siipipyörä       | - Hihnat ja hihnapyörät |
| - Tärinäneristimet | - Kytkin                |
| - Joustava liitin  | - Moottori              |

PUHALLIN FL FM FH	LAAKERI SKF C3	HOLKKI	PESÄ SNH	OHJ. RENGAS		TIIIVISTE- SARJA TSNA	tiiviste ASNA	Kun n>...1 / min käytetään aks. tukirenkaita
				KPL	FRB			
20 16 12	1306 EK	H 306	507-606 N	2	7, 5/72P	606 A	606 V	n > 5350
25 20 16	2307 EK	H 2307	508-607 N	2	4/80 P	607 A	607 V	n > 4460
31 25 20	2308 K	H 2308	510-608 N	2	4/90 P	608 A	608 V	n > 3820
40 31 25	2309 EK	H 2309	511-609 N	2	4/100 P	609 A	609 V	n > 3340
50 40 31	2310 K	H 2310	512-610 N	2	4/110 P	610 A	610 V	n > 2970
63 50 40	22213 CCK	H 313	513-611 N	2	10/120 P	513 A	513 V	n > 2230
80 63 50	22215 CCK	H 315	515-612 N	2	12, 5/130P	515 A	515 V	n > 2060
90 71 56	22218 CCK/W33	H 318	518-615 N	2	12, 5/160P	518 A	518 V	n > 1670
100 80 63	22220 CCK/W33	H 320	520-617 N	2	12/180 P	520 A	520 V	n > 1490
112 90 71	22222 CCK/W33	H 322	522-619 N	2	13, 5/200P	522 A	522 V	n > 1340
125, 140, 160 100, 112, 125 80, 90, 100	22224 CCK/W33	H 3124	524-620 N	2	14/215 P	524 A	524 V	n > 1220
140, 160 112, 125	22228 CCK/W33	H 3128	528 N	2	15/250 P	528 A	528 V	n > 1070



## H O I T O - J A K Ä Y T T Ö O H J E E T

Jyväskylän kaupungin energialaitos

Kuokkalan lämpökeskus

TF35 - 40 MW KATTILA

### Mitoitusarvot:

-	teho	40 MW
-	suunnittelupaine	16 bar
-	suunnittelulämpötila	204°C
-	menoveden lämpötila (kattila)	115-130°C
-	paluuveden lämpötila (kattila)	80°C - 110°C





# SISÄLLYSLUETTELO

T Aaltonen/ENy

1989-09-01

1 (1)

## KÄYTTÖ- JA HUOLTO-OHJEET / TF35

1	Kattilan rakenneselostus	1
2	Mitoitusperusteet	2
3	Mitoitusarvot	3
4	Käyttöarvot	3
5	Nuohous	4
6	Käyttöönotto	5
7	Yleisohjeita kattilalaitoksen hoidossa	8



## TF35 KATTILA

## 1

## Kattilan rakenneselostus

Kattila on yhdistetty vesiputki-tuliputkikattila, jota voidaan käyttää lämmin- tai kuumavesikattilana. Tulipesä on mitoitettu raskaan polttoöljyn poltinvaatimukset huomioiden. Kattilan tehoalue on 10 - 40 MW, maksimipaine 16 bar ja suunnittelulämpötila 204°C.

## 1.1

Kattilan pääosat ovat tulipesä, välikanava, konvektio-osa turbulenssielimineen sekä jalusta.

Tulipesä muodostuu kaasutiiviistä yhteenhitsatuista membraaniseinämistä ja vastakkain asetetuista lautaspäädyistä, jotka muodostavat pohjan ja katon sekä samalla ala- ja yläkokoojan. Tulipesän pohjalla on massaus, joka varmistaa öljyssä olevien suurien partikkeleiden loppuun palamisen. Välikanava on myös valmistettu membranrakenteisista vesiputki-seinämistä. Sen pohjaan on asennettu nuohousveden kokoojat ja kattilan tyhjennysyhde.

Konvektio-osan muodostaa pystyssä oleva vesilieriö, jonka sisään on sijoitettu tasajaolla tarpeellinen määrä suorita tuliputkia. Konvektio-osan yläosassa on nokikaappi säädettävine turbulenssielimineen. Lisäksi sinne on sijoitettu kattilan vesinuohousputkisto.

## 1.2

## Savukaasukierto

Poltin sijaitsee tulipesän katossa. Tulipesän ylipaineista johtuen palamiskaasut kulkevat alaosassa olevan aukon kautta välikanavaan, joka ohjaa kaasut edelleen konvektio-osaan. Sieltä savukaasut virtaavat tuliputken kautta nokikaappiin ja edelleen savukanavaan.

## 1.3

## Vesipuolen kierto

Vesi tulee konvektio-osan yläosaan, jossa olevat putket jakavat sen tasaisesti koko yläosaan, josta vesi kulkee vedenohjauslevyjen ohjaamana alas välikanavaan, jonka vesiputkien kautta vesi johdetaan tulipesän alakokoojaan. Sieltä vesi jakautuu tasaisesti senämäputkiin ja nousee edelleen tulipesän yläkokoojaan, josta se johdetaan pois kokoojaputkien kautta. Näin saavutetaan tasainen ja varma vedenkierto kattilan kaikissa osissa.



#### 1.4 Polttolaitteet

Kattilan poltin on pyöriväkuppinen raskasöljypoltin, joka on sijoitettu tulipesän kattoon.

### 2

#### Mitoitusperusteet

##### 2.1 Lämpö- ja virtaustekninen mitoitus

Tulipesän tilavuuskuormituksen mitoitusarvo on 650 kW/m<sup>3</sup> laskettuna kattilan bruttotehosta.

Konvektio-osan putkikoko ja putkilukumäärä on valittu siten, että savukaasujen todellinen virtausnopeus on suurimmillaan putkien alkupäässä n. 40 m/s ja pienimmillään minimiteholla putkien loppupäässä n. 10 m/s. Nämä nopeudet on havaittu sopivimmaksi, kun on huomioitu painehäviöt, putkien kuluminen, likaantuminen ja tehonsäätöalue.

Konvektio-osassa olevilla turbulenssielimillä parannetaan lämmönsiirtoa putkien yläpäässä, jolloin loppulämpötila saadaan alemmas. Pitkissä putkissa savukaasuvirtaus muuttuu helposti laminaariseksi. Turbulenssielimillä tämä estetään ja lisäksi ne lisäävät savukaasujen virtausnopeutta, mikä pelkäänsäkin tehostaa lämmönsiirtoa.

Tehonsäätöalue normaalimitoituksella on 1:4, rajoittavana tekijänä on savukaasun minimilämpötila ja sen ylläpitämiseksi tarvittava kattilan paluueden lämpötila, joka johtaa shunttipumpun koon kasvamiseen turhan suureksi laitoksen kokonaistalouden kannalta.

Savukaasupuolen painehäviö on täydellä teholla n. 2800 Pa. Tämä muodostuu lähinnä virtaushäviöstä konvektio-osan tuliputkissa ja turbulenssielimissä.

Käynnistysaika riippuu kattilan lämpötilasta käynnistyshetkellä. Kattilaveden normaali lämpötilan nostonopeus on 3°C/min.

Kun kattilan menoveden lämpötila on saavuttanut normaaliarvonsa, voidaan aloittaa tehonnosto, jonka maksimi-arvo kattilan osalta 10 %/min kattilassa vallitsevasta tehosta.

Edellä mainitulla arvoilla normaali käynnistysaika lämminvesikattilalla on n. yksi tunti.



## HOITO- JA KÄYTTÖOHJEET

M Sairanen/ENy

1989-09-01

3

3

## Mitoitusarvot

Lämpöteho jatk. kuormalla maks.	40 MW
" " " min.	8 MW
Suunnittelupaine	1,6 MPa (yli- paine)
Suunnittelulämpötila	204°C
Käyttölämpötilat meno/paluu	115°C/80°C
" " " pienillä tehoilla	130°C/110°C
Kuormitusalue, jatkuva	20 - 100 %
Polttoaine	POR Y öljy
- tehollinen lämpöarvo	40,1 MJ/kg
- viskositeetti 50°C	180 mm <sup>2</sup> /s

## Kattilan muut arvot

Päämitat	
- pituus	7,0 m
- leveys	3,9 m
- korkeus	10,0 m
- paino tyhjänä sis. eristys	57 tn
Vesitilavuus	25 m <sup>3</sup>
Tulipesä	
- korkeus	8,0 m
- halkaisija	3,2 m
- tilavuus	66,2 m <sup>3</sup>
- pinta-ala	92,1 m <sup>2</sup>
Tilavuuskuormitus 100 %:n kuormalla	650 kW/m <sup>3</sup>
Välikanavan pinta-ala	15 m <sup>2</sup>
Konvektio-osan pinta-ala	690 m <sup>2</sup>
- varustettu säädettävillä turbulenssi- elimillä	
Kokonaistulipinta	797 m <sup>2</sup>

## Rakenneaineet

Seinäputkien mitat	Ø 57 x 4 mm
Konvektioputkien mitat	Ø 51 x 4,0 mm
Putkimateriaali	St 37.8/I
Levyateriaali	Raex 383P

4

## Käyttöarvot

## 4.1 Lasketut käyttöarvot puhtaalle kattilalle, öljykäyttö

Kattilan kuormitus	MW	40	20	10
Kattilan hyötysuhde (ohje- arvo)	%	93,0	94,5	94,0
Savukaasun lämpötila	°C	165	140	140
O2-pitoisuus	%	2,2	2,5	4,5
Nokiluku Bacharach		3	3	3



## HOITO- JA KÄYTTÖOHJEET

M Sairanen/ENy

1989-09-01

4

Kattilan menoveden lämpötila	°C	115	115	130
Paluuveden lämpötila kattilaan	°C	80	80	110
Savukaasupuolen painehäviö	Pa	2800	1200	400
Vesipuolen painehäviö	kPa	20	5,0	1,3

5

## Nuohous

Konvektio-osan tuliputket nuohotaan vesipesulla. Nuohousvesiyhteet on nokikaapin yläosassa ja poistoyhteet välikanavan pohjassa. Veden kulutus on 1 - 3 m<sup>3</sup>/nuohouskerta. Nuohousväli riippuu paljon kattilan käyttöolosuhteista (teho, öljyalaatu, seisokit), mutta jonkinlaisena ohjearvona voidaan pitää 500 - 800 h käyttöaikaa tai loppulämpötilan nousua yli 30°C.

Nuohouksen aikana poltin on oltava pysäytettynä. Nuohouksen aikana turbulaattorit oltava ala-asennossa.

Ennen pitempiaikaista seisokkia kattila on aina nuohottava huolellisesti ja huolehdittava riittävästi nuohousveden poistosta ja kuivauksesta.

Huolehdi että välikanavan pohjalla olevat nuohousveden poistoaukot ovat auki.

Nuohouksen jälkeen kattilaa käytettävä vähintään 0,5 h minimiteholla. Näin varmistetaan pohjan tasainen kuivuminen.

## 5.1 Nuohousvälineet

Vesinuohousvarusteet käsittäen:

- suutinputket 2 sarjaa
- tarvittavat venttiilit huuhteluilmayhteineen

## Mitoitus

Tarvittava vesivirtaus	n. 35 m <sup>3</sup> /h
Tarvittava vedenpaine, maks./min.	0,8/0,25 MPa
Tarvittava veden lämpötila	+7...+40°C
Kattilaveden lämpötila nuohouksessa	maks/min +80/+60°C
Vesimäärä/nuohous	n. 3 m <sup>3</sup>



## 6

## Käyttöönotto

## 6.1 Kattilan tarkastus

## Savukaasupuoli

Asennuksen päätyttyä on kattila tarkastettava. Savukaasutilan puolelta on poistettava kaikki vieraat esineet, kuten puunkappaleet, lankut, puhdistusrievut, kivet, romut ja paikalle jääneet työkalut.

Kaikkien venttiilien asennot on tarkastettava, verrattava annettuihin tietoihin ja mahdollisesti säädettävä. Kaikki venttiilit on koekäytettävä ja niiden helppo liikkuvuus varmistettava.

## Vesitila

Niin pitkälle kuin mahdollista tarkastetaan tai valaisemalla tutkitaan kattilan vesitila. Tästä osasta on myös poistettava kaikki vieraat esineet. Kokoojat ja lieriöt on esivalmistettava puhtaaksikeittoa varten puhdistamalla ne.

Kun kaikki on tarkastettu ja puhdistettu, tarkastusluukut tiivistetään ja suljetaan.

## 6.2 Apulaitteiden tarkastus

Kaikkien sähkömoottoreiden pyörimissuunta on tarkastettava. Laakerit on rasvattava ohjeiden mukaan. Sen jälkeen seuraa kylmä koekäyttö, joka kestää useimmiten yli 24 tuntia aina 48 tuntiin asti. Tänä aikana on laakereiden lämpötiloista pidettävä pöytäkirjaa ja tarkastettava laakereiden tasainen käynti.

## 6.3 Kattilan huuhtelu ja "puhtaaksikeitto"

Kattila puhtaaksikeitetään P3 croni-liuoksella. P3 croni on koostunut alkalisuoloista ja on silikaattiton eikä sisällä kostutusaineita. Käytettävä liuos on 1-prosenttinen.

Kattila täytetään raakavedellä ja vettä kierrätetään kattilapiirin pumpulla kl-vaihtimen läpi niin, että lämpötila kaikkialla kattilapiirissä nousee n. 80°C - 85°C:een. P3 croni kaadetaan kattilaan varoventtiiliyhteestä ja vettä kierrätetään kattilapiirissä n. 24 tuntia. Kokemuksen perusteella lämpötila laskee n. 60°C:een.



Kierron jälkeen lasketaan vesi pois ja huuhteluvesi otetaan tilalle. Huuhtelukertoja suoritetaan 3 kpl, jonka jälkeen kattilalaitoksen pääsulut aukaistaan ja kaukolämpövesi otetaan kattilaan. Kattilan vesitilavuus putkistoinen on n. 33 m<sup>3</sup>.

#### 6.4 Lämmitys

Ennen käynnistystä on tarkistettava, että

- kattilan kaikki luukut on suljettu kunnollisesti
- kattila ja verkosto ovat täynnä vettä ja paisuntajärjestelmä toimii
- meno- ja paluujohdon venttiilit ovat täysin auki ja tarvittavat kiertovesipumput käynnissä
- palamisilman tulo kattilahuoneeseen on varmistettu
- savukaasupelti on auki
- säiliössä on riittävästi öljyä, öljysuodattimet puhdistettu, öljyputkiston venttiilit auki ja öljypumppu on käynnissä
- öljyn paine ja lämpötila on säädetty oikeaan arvoon ja öljyllä on haluttu viskositeetti
- kattilatermostaatit on säädetty oikeille lämpötiloille

#### 6.5 Käyttö ja tarkkailu

Alkuvalmistelujen jälkeen poltin käynnistetään ja säädetään annettujen arvojen mukaisiksi.

Luotettavia mittalaitteita ovat Orsat (CO<sub>2</sub>)-koje ja nokipumppu. Savukaasun lämpötila mitataan kattilan savukanavasta.

Kattilasta on pidettävä ns kattilapäiväkirjaa, johon merkitään päivittäin kaikki suoritettut toimenpiteet, kuten mittaustulokset, nuohoukset, pumppujen vaihdot, tehdyt havainnot ymv.

Kylmän kattilan alkulämmityksen (ylösajon) tulee tapahtua hitaasti esim. käyttämällä poltinta käsinohjauksella. Suositeltava lämpötilan nousunopeus on enintään 3°C/min.



## 6.6 Määräaikaistarkastukset

## Päivittäin

- Luetaan kattilan meno- ja paluuveden lämpötilat sekä savukaasun lämpötila
- Tarkastetaan polttimen öljynpaine ja -lämpötila (viskositeetti)
- Seurataan savupiipusta tulevan savukaasun väriä
- Silmämääräinen vuotojen tarkastus: tiivisteet, luukut ymv.
- Öljyvuotojen tarkastus ja välitön korjaus
- Öljymäärän tarkistus

## Viikottain

- Raskaalla öljyllä toimiva kattila nuohotaan tarpeen mukaan
- Mitataan savukaasun CO<sub>2</sub>-pitoisuus ja nokiluku ja tehdään tarvittavat säädöt
- Tarkastetaan polttimen toiminta annettujen ohjeiden mukaan
- Puhdistetaan öljysuodatin tarpeen mukaan
- Säiliön öljymäärän tarkistus

## Kuukausittain

- Puhdistetaan poltin ohjeiden mukaan, samoin öljysuodattimet
- Korjataan vuotavat kierre- ja laippaliitännät sekä venttiilien tiivisteet
- Tarkastetaan ja tarvittaessa uusitaan kattilan savukaasupuolen luukkujen tiivisteet
- Tarkistetaan massausten kunto





## Vuosittain

- Puhdistetaan kattilan tulipinnat perusteellisesti (aina ennen pitkäaikaista seisokkia)
- Tarkastetaan kattilan yleiskunto: tulipesä, tuliputket, putkilevyt ja putkisaumat
- Korjataan havaitut syöpymät
- Tarkistetaan ja korjataan massausten mahdolliset vauriot
- Kattilan vesipuolen tarkastus ja puhdistus, vuotavien tiivisteiden vaihto
- Polttimen vuosihuolto
- Huolletaan ja kunnostetaan muut laitteet ohjeiden mukaan
- Tarkastetaan ja täydennetään laitoksen varaosat ja nuohousvälineet

7

## Yleisohjeita kattilalaitoksen hoidossa

Kattilaa ei saa koskaan jättää seisokkiin puhdistamattomana. Jo yhden viikon seisokin aikana puhdistamaton tai huonosti puhdistettu kattila syöpyy enemmän kuin kuukausien käytön aikana.

Kattila on nuohottava viimeistään, kun todetaan savukaasujen lämpötilan nousevan yli 180°C täydellä teholla.

Hyvän hyötysuhteen ylläpitämiseksi on sekä polttimen käyttöarvot että savukaasun lämpötila pidettävä suositelluissa raja-arvoissa. Kattilaveden on vastattava kattilalle annettuja ohjearvoja.

Jos kattila pääsee kiehumaan kuiville, ei vettä saa lisätä ennen kuin kattila on jäähtynyt. Kiehumisen syy on välittömästi selvitettävä ja poistettava. Tulipintojen vaurioituttua kuivaksikiehumisen johdosta, on kattila-asiatuntijan ja paineastia-viranomaisten suoritettava tarkastus ennen kuin kattila voidaan käynnistää.

Varolaitteiden asetteluarvoja ei saa muuttaa.



Kattilahuone on pidettävä puhataana ja kuivana. Vuotavat johdot, venttiilit, tiivisteet jne. korjataan heti tilaisuuden tullen.

Öljyyn tai liekkiin lisättävät aineet pehmentävät kattilan tulipinnoille muodostuvaa karstaa. Ainetta voidaan käyttää esim. 1 - 2 päivää ennen nuohousta, jolloin karsta irtoaa helpommin.

Lisäaineiden j a t k u v a k ä y t t ö pitää tulipinnat liian puhtaina, jolloin syöpyminen nopeutuu. Lisäaineiden syöttö polttimen ilmakehien kautta tulipesään vaurioittaa polttimen rakenneosia.

Öljysäiliötä täytettäessä on poltin syytä pysäyttää, jolloin ehkäistään ilmakehien pääsy öljyputkistoon.

Kattilan ja verkoston on aina oltava täynnä vettä. Mikäli järjestelmä joudutaan tyhjentämään, täytetään se mahdollisimman nopeasti ja lämmitetään käyttölämpötilaan.

Kattilaveden kovuus on 0,2°dH. Veden pH on 8...9. Jos vettä joudutaan lisäämään, on käytettävä esim. hydratsiinia hapen sitomiseksi.